



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TERO HAKKOLA  
KUNTOTUTKIMUSTEN HYÖDYNTÄMINEN KATUJEN KORJAUS-  
VELKALASKENNASSA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pauli Kolisoja  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
29. tammikuuta 2018

## TIIVISTELMÄ

**TERO HAKKOLA:** Kuntotutkimusten hyödyntäminen katujen korjausvelkalaskennassa

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 118 sivua, 5 liitesivua

Syyskuu 2018

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Infrarakenteet

Tarkastaja: professori Pauli Kolisoja

**Avainsanat:** katu, korjausvelka, korjausvelkalaskin, kuntotutkimus, kuntotaso

Korjausvelka kuvaa katujen tavoitekuntotason ja nykyisen kuntotason välistä erotusta. Korjausvelan prosentuaalinen sekä rahallinen määrä riippuu aina kaduille asetetuista tavoitekuntotasoista. Täten kuntien strategiset valinnat vaikuttavat korjausvelan laskennalliseen määrään.

Vaasan kaupungin katuverkolle on tehty korjausvelkalaskelma Excel-pohjaisella korjausvelkalaskimella vuosien 2014 - 2015 aikana. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tarkentaa tehtyä korjausvelkalaskentaa, tutkia millaisia kuntotutkimusmenetelmiä voidaan hyödyntää laskennan tarkentamisessa, millaiset tutkimusmenetelmät soveltuvat katujen kunnan määrittämiseen kaupunkiympäristössä sekä millaisilla menetelmillä katujen kuivatusrakenteiden kuntoa voidaan selvittää. Tavoitteena oli myös selvittää, miten katujen saneerausjärjestystä voidaan priorisoida. Tutkimuksessa hyödynnettiin olemassa olevaa kirjallisuutta ja tutkimustuloksia, asiantuntijoilta saatuja kommentteja erilaisiin kysymyksiin sekä kohteissa tehtyjä kuntotutkimuksia.

Tutkimuksessa päädyttiin tekemään tarkentavia kuntotutkimuksia sekä korjausvelkalaskennan päivitys 15 kadulle. Katuihin sisältyy pää-, kokooja-, tontti- ja teollisuuskatuja. Kadut valittiin korjaustarpeen, liikennemäärien ja pohjamaan vaikutuksen arvioinnin perusteella. Käytettäviksi tutkimusmenetelmiksi valikoitui mobiililaserkeilaus sekä kantavuusmittaukset. Kuivatusrakenteiden kunnan selvittämiseen ei löydetty nopeita keinoja, joten kuivatuksen tutkiminen jätettiin pintakuivatuksen tutkimiseen. Laserkeilausten keilausaineistoa ei saatu tutkimuksen aikana käyttöön, joten aineiston hyödyntämistä ei päästy kokeilemaan halutulla tavalla.

Korjausvelkalaskimen päivityksellä laskelma pieneni 15 kadun osalta noin 1,63 miljoonalla eurolla. Laskimen tarkimmalla laskelmalla muutos laajennettuun laskelmaan oli noin 126 000 euroa. Laskimen päivittämisellä on siis suuremmat vaikutukset laskelmaan kuin laskennan tarkentamisella. Kuntotutkimusten ja korjausvelkalaskimen mukaisilla kuntotasoarvioilla ei havaittu olevan yhteyttä. Kuntotutkimuksilla kadut on kuitenkin mahdollista asettaa paremmuusjärjestykseen ja tällöin katujen saneerausjärjestystä voidaan priorisoida.

Kuntien olisi hyödyllistä kehittää pitkäjänteinen strategia katujen kunnan parantamiseen ja korjausvelan poistamiseen. Strategiassa määriteltäisiin, miten korjausvelkaa vähennetään ja miten kunnostettujen katujen kuntoa ylläpidetään. Osana strategiaa voisi olla saneeraustoimenpiteiden tehostaminen vain huonossa kunnossa oleviin kohtiin. Tässä olisi mahdollista hyödyntää kuntotutkimuksista saatavaa mittaustietoa.

## ABSTRACT

**TERO HAKKOLA:** Utilizing condition surveys in street maintenance backlog calculation

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 118 pages, 5 Appendix pages

September 2018

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Infrastructure

Examiner: Professor Pauli Kolisoja

**Keywords:** street, maintenance backlog, maintenance backlog calculator, condition survey, condition level

Street maintenance backlog represents the difference between target condition level and present condition level. The percentual or financial quantity of maintenance backlog always depends on the target condition level appointed to the street. Thus, the strategic choices of towns and cities affect the calculatory quantity of maintenance backlog.

A maintenance backlog calculation has been carried out to the street network of city of Vaasa with an Excel-based maintenance backlog calculator during years 2014 - 2015. Goals of this study are to specify maintenance backlog calculation, explore what kind of condition surveys can be utilized in specifying calculation, what kind of condition surveys are suitable in urban environment and explore what methods are suitable for exploring the condition of drainage systems. One goal is also to explore how the renovation order of streets can be prioritized. Literature, research results, comments from specialists and condition surveys on targets were utilized in this study.

Condition surveys and updating of maintenance backlog calculation were concluded to be done on 15 streets. These streets include main, feeder, access and industrial streets. The streets were chosen on the grounds of need for renovation, traffic flow and the influence of subsoil. Chosen condition surveys were laser scanning and bearing tests. Methods to easily explore the condition of drainage systems were not found so exploring drainage systems was narrowed to exploring surface drainage. Point cloud from laser scanning data was not available at the time of conducting this study and could therefore not be utilized.

With updating the maintenance backlog calculator, the calculations of the 15 streets were decreased with 1,63 million euros. With the most accurate calculation the difference to the earlier calculation is about 126 000 euros. Thus updating the calculator has bigger influence on the calculation than doing the calculation more precise. In condition levels between condition surveys and maintenance backlog calculation, no connection was found. With condition surveys, it is possible to list streets according to their condition. Then the renovation order can be prioritized.

It would be useful for towns and cities to develop a sustained strategy for improving the condition of streets and removing maintenance backlog. In that strategy, methods for reducing maintenance backlog and maintaining the condition of renovated streets would be defined. Part of the strategy could be increasing the efficiency of renovations. Measurement data from condition surveys could be utilized in renovations.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on hakenut muotoaan vuoden 2017 kesän ja alkusyksyn ajan. Työn sisältö ja työn liittyminen korjausvelkaan tarkentui syksyn 2017 aikana ja työ on ollut aktiivisesti tekeillä syksystä 2017 alkaen. Haluan kiittää Vaasan kaupungin Siri Gröndahlia ja Antti Ruokosta mielenkiintoisesta, haastavasta ja oman ydinosaamisen ulkopuolella olevasta diplomityöaiheesta.

Työn ohjausryhmässä oli Siri Gröndahl ja Antti Ruokonen Vaasan kaupungilta, professori Pauli Kolisoja Tampereen teknillisestä yliopistosta sekä Jussi Pajula Rambollilta. Haluankin kiittää työn ohjausryhmää nopeista kommenteista ja reagoinneista työn etenemisen aikana. Erityisesti työn tarkastajanakin toimineen Kolisojan kommentit liittyen työhön ovat olleet tärkeitä. Kiitos myös työn aikana erilaisiin kysymyksiin vastanneille henkilölle.

Erityiskiitos vaimolleni Karoliinalle kannustamisesta, työrauhan antamisesta sekä työn oikoluvuista. Haluan mainita myös Juha Parikan, joka aikanaan sai nuoren insinööriopiskelijan kiinnostumaan infrarakentamisesta ja käski opiskella kunnolla ja riittävästi.

Vaasassa, 19.9.2018

Tero Hakkola



# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Tutkimuksen tausta .....	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet .....	2
1.3	Tutkimuksen rajaus ja tutkimusmenetelmät .....	2
2.	KATURAKENNE JA TUTKIMUSMENETELMÄT .....	3
2.1	Kadun rakenne .....	3
2.2	Katurakenteen mitoitus .....	7
2.2.1	Kuormituskestävyysmitoitus .....	7
2.2.2	Routamitoitus .....	10
2.3	Katurakenteiden laatuvaatimukset .....	12
2.4	Katujen vaurioituminen .....	13
2.5	Katurakenteiden tutkimusmenetelmiä .....	18
2.5.1	Visuaalinen tarkastelu ja vauriomittaus .....	18
2.5.2	Palvelutasomittaus (PTM) .....	21
2.5.3	Laserkeilaus .....	23
2.5.4	Maatutka .....	26
2.5.5	Traffic speed deflectometer .....	27
2.5.6	Pudotuspainolaite .....	29
2.5.7	Levykuormituskoe .....	30
2.5.8	Näytetutkimukset .....	31
2.5.9	Kuivatusrakenteiden tutkimus- ja mittausmenetelmiä .....	33
2.5.10	Muita tutkimusmenetelmiä .....	34
3.	KORJAUSVELKA .....	36
3.1	Korjausvelan määrittely .....	36
3.2	Katujen ja väylien kuntotila .....	40
3.2.1	Kunnon seuraaminen .....	40
3.2.2	Kuntotiedon kartoittaminen .....	42
3.2.3	Kuntotiedon säilyttäminen .....	43
3.3	Korjausvelan laskenta Vaasassa .....	44
3.4	Korjausvelan laskenta- ja tutkimusmenetelmiä muualla Suomessa .....	46
3.5	Korjausvelan laskentamenetelmiä Suomen ulkopuolella .....	49
3.5.1	ERANET-Backlog -projekti .....	49
3.5.2	Korjausvelan määrittely ja laskenta Ruotsissa .....	49
4.	KATUJEN KORJAUSVELKALASKIN .....	53
4.1	Laskentaperiaate .....	53
4.2	Laskentatulokset .....	57
4.2.1	Raportointi .....	57
4.2.2	Laskentatarkkuuden vaikutus korjausvelan määrään .....	58
4.3	Lähtötietojen hankinta .....	59

4.3.1	Laskimen tietotaso 1 .....	59
4.3.2	Laskimen tietotaso 2 .....	60
4.3.3	Laskimen tietotaso 3 .....	62
4.4	Laskimen uusi versio.....	64
4.4.1	Laskentatyökaluun tehtyjä päivityksiä.....	64
4.4.2	Päivitysten vaikutuksia korjausvelkalaskennan tuloksiin .....	66
4.5	Haasteita korjausvelkalaskimen käytössä .....	67
4.6	Korjausvelkalaskenta Foren ohjelmistolla .....	68
5.	TUTKIMUKSET VAASAN KATUVERKOLLA .....	69
5.1	Tutkittavat kohteet.....	69
5.2	Kohteissa tehdyt tutkimukset .....	71
5.3	Tutkimusten tilaaminen.....	73
6.	TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN HYÖDYNTÄMINEN .....	75
6.1	Tutkimustulokset.....	75
6.1.1	Kantavuusmittaukset.....	75
6.1.2	Videokuvaus.....	80
6.1.3	Tasaisuustiedot laserkeilausaineistosta .....	81
6.1.4	Routivuusluokittelu .....	87
6.1.5	Kuivatusluokat .....	89
6.1.6	Vertailtavien katujen mittaustulosten väliset erot.....	92
6.2	Tutkimustulosten vaikutus korjausvelkalaskentaan .....	95
6.2.1	Tutkimustulosten vaikutukset korjausvelkalaskimella tehtyyn laskentaan .....	95
6.2.2	Tutkimustulosten ja laskimen antaman kuntotasoarvion vertailu..	98
6.2.3	Tutkimustulosten mukaisten kuntotasojen ja korjausvelkalaskimen korjausvelkalaskennan vertailu .....	100
6.3	Katujen kunnon ylläpito .....	102
6.3.1	Kuntotilan ennakointi.....	102
6.3.2	Katusaneerausjärjestyksen suunnittelu .....	103
6.3.3	Mitatun datan hyödynnettävyys .....	105
7.	YHTEENVETO .....	108
	LÄHTEET.....	111

## LIITE A: KORJAUSVELKALASKENNAN TULOKSIA

## LIITE B: KATUJEN KUIVATUSLUOKKIEN MÄÄRITTELYT

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Kadun rakennekerrokset</i> .....	4
<b>Kuva 2.</b>	<i>Reunakivellinen hulevesiviemäroity poikkileikkaus</i> .....	5
<b>Kuva 3.</b>	<i>Sivuojallinen poikkileikkaus</i> .....	5
<b>Kuva 4.</b>	<i>Itäinen ratakatu, rakennekerrokset kiviaineksesta [17]</i> .....	6
<b>Kuva 5.</b>	<i>Itäinen ratakatu, rakennekerrokset uusiomateriaaleista [17]</i> .....	6
<b>Kuva 6.</b>	<i>Puskantien tyyppipoikkileikkaus ja rakennekerrokset. Kuva muokattu lähteestä [39]</i> .....	7
<b>Kuva 7.</b>	<i>Pohjamaan kantavuusluokitukset katurakenteilla [16]</i> .....	8
<b>Kuva 8.</b>	<i>Kaistakohtaiset kertoimet useammalla samaan suuntaan kulkevalla kaistalla kuormituskertalukujen määrittämisessä [62, s. 27]</i> .....	9
<b>Kuva 9.</b>	<i>Alusrakenneluokat Tierakenteen suunnittelu -ohjeen mukaisesti [62, s. 37]</i> .....	10
<b>Kuva 10.</b>	<i>Mitoitusroudansyvyyden arvoja Suomessa [62, s. 43]</i> .....	12
<b>Kuva 11.</b>	<i>InfraRYL:n mukaiset toimivuusvaatimukset ja tekniset vaatimukset [16]</i> .....	13
<b>Kuva 12.</b>	<i>Kadun urautumistyyppit. Kuva muokattu lähteestä [40].</i> .....	14
<b>Kuva 13.</b>	<i>Väylän alittavan johdon tai kaapelin kohdalla on syntynyt painumaa ja asfaltti on hajonnut</i> .....	15
<b>Kuva 14.</b>	<i>Myöhemmin asennettu kaapeli. Tilanne on väliaikainen ja kaapelin ura tullaan asfaltoimaan.</i> .....	15
<b>Kuva 15.</b>	<i>Kahden kaivon välille asennettu vesihuoltoputki</i> .....	16
<b>Kuva 16.</b>	<i>Kunnossapidon kustannuksia kadun elinkaaren eri vaiheissa [2, s. 4]</i> .....	17
<b>Kuva 17.</b>	<i>Päivitetty kuntotasomallit korjausvelkalaskimessa [18, s. 16]</i> .....	18
<b>Kuva 18.</b>	<i>Vauriosumman laskenta [43, s. 16]</i> .....	19
<b>Kuva 19.</b>	<i>Periaatekuva APVM-ajoneuvon laitteistosta. Kuva lähteen [60, s. 15] pohjalta.</i> .....	20
<b>Kuva 20.</b>	<i>APVM-aineistosta tehtävän kuvatulokinnan vaiheet [60, s. 16]</i> .....	21
<b>Kuva 21.</b>	<i>Uramittauspalkin mitat [34, s. 4]</i> .....	22
<b>Kuva 22.</b>	<i>Uramittauspalkin urien mittauksen periaate [34, s. 4]</i> .....	22
<b>Kuva 23.</b>	<i>Laserkeilain maarakennus ja teollisuusmittauksiin [11].</i> .....	24
<b>Kuva 24.</b>	<i>Mobiililaserkeilain [11]</i> .....	25
<b>Kuva 25.</b>	<i>Tyypillisen maatutka-auton mittalaitteet [42, s. 13]</i> .....	27
<b>Kuva 26.</b>	<i>TSD-mittalaitteen malli sivustapäin katsottuna [13, s. 1]</i> .....	28
<b>Kuva 27.</b>	<i>Mittausetäisyydet TSD-mittauksessa</i> .....	29
<b>Kuva 28.</b>	<i>Pudotuspainolaitteen toimintaperiaate [55, s. 4]</i> .....	30
<b>Kuva 29.</b>	<i>Levykuormituskokeessa tarvittava laitteisto [37, s. 6]</i> .....	31
<b>Kuva 30.</b>	<i>Näytteenottojärjestys koekuopasta. Pohjamaan näyte voidaan ottaa myös putkeen. [22, s. 15]</i> .....	32

<b>Kuva 31.</b>	<i>Hulevesiverkosto tulvii rankkasateella. Kuva otettu noin kaksi tuntia sateen loppumisen jälkeen.....</i>	<i>34</i>
<b>Kuva 32.</b>	<i>Korjausvelan määrittäminen hybridimallilla. Kuva laadittu lähteen [45, s. 31] pohjalta .....</i>	<i>37</i>
<b>Kuva 33.</b>	<i>Optimikuntotason määrittelyn vaikutukset korjausvelkaan.....</i>	<i>38</i>
<b>Kuva 34.</b>	<i>Optimikuntotasojen vaikutus korjausvelan syntymiseen .....</i>	<i>39</i>
<b>Kuva 35.</b>	<i>Asukasmäärien muutos kaupunkimaisissa kunnissa [19] .....</i>	<i>41</i>
<b>Kuva 36.</b>	<i>Katualueella olevan infran eriaikaisia saneeraustarpeita .....</i>	<i>43</i>
<b>Kuva 37.</b>	<i>Näkymä ArcMap-ohjelmasta [48, liite 1 s. 6] .....</i>	<i>44</i>
<b>Kuva 38.</b>	<i>Korjaustarpeessa oleva katu (Vanhan Vaasan katu) .....</i>	<i>45</i>
<b>Kuva 39.</b>	<i>Korjaustarpeessa oleva katu (Pitkänevantie).....</i>	<i>46</i>
<b>Kuva 40.</b>	<i>Korjausvelan ja kuntotason esittäminen prosenttilukemana korjausvelkalaskimessa .....</i>	<i>51</i>
<b>Kuva 41.</b>	<i>Katuosuuksien jakautuminen kunnostustarpeen ajankohtaisuusluokittelun mukaisesti Ruotsissa [54, s. 28] .....</i>	<i>51</i>
<b>Kuva 42.</b>	<i>Katujen kunnostustarpeen ajankohta Ruotsissa katutyypeittäin [54, s. 30].....</i>	<i>52</i>
<b>Kuva 43.</b>	<i>Tietotasot ja tasojen sisältö korjausvelkalaskimessa .....</i>	<i>53</i>
<b>Kuva 44.</b>	<i>Katujen laskentamallin toimintaperiaate [46, s. 12].....</i>	<i>54</i>
<b>Kuva 45.</b>	<i>Korjausvelkalaskimen mukainen tietotasomääritelmien luokittelu.....</i>	<i>55</i>
<b>Kuva 46.</b>	<i>Tietotasojen 2 ja 3 määrittelyjen tarkennuskertoimet [46, s. 14] .....</i>	<i>55</i>
<b>Kuva 47.</b>	<i>Tietotasojen määritelmien vaikutukset laskentakertoimeen.....</i>	<i>56</i>
<b>Kuva 48.</b>	<i>Lähtöarvojen syöttö korjausvelkalaskimeen.....</i>	<i>57</i>
<b>Kuva 49.</b>	<i>Korjausvelkalaskimen Raportti-välilehti.....</i>	<i>58</i>
<b>Kuva 50.</b>	<i>Laskentatarkkuuden ja optimikuntotasomuutosten vaikutuksia korjausvelkalaskimessa .....</i>	<i>59</i>
<b>Kuva 51.</b>	<i>Maaperätietoja Vaasasta [10] .....</i>	<i>61</i>
<b>Kuva 52.</b>	<i>Maaperätietoja Korsnäsistä [10] .....</i>	<i>61</i>
<b>Kuva 53.</b>	<i>Pääkatujen uusi ja vanha kuntotasomalli.....</i>	<i>65</i>
<b>Kuva 54.</b>	<i>Kokoojakatujen uusi ja vanha kuntotasomalli .....</i>	<i>65</i>
<b>Kuva 55.</b>	<i>Tonttikatujen uusi ja vanha kuntotasomalli .....</i>	<i>66</i>
<b>Kuva 56.</b>	<i>Korjausvelkalaskelman raportti, alkuperäinen laskin .....</i>	<i>67</i>
<b>Kuva 57.</b>	<i>Korjausvelkalaskelman raportti, päivitetty laskin.....</i>	<i>67</i>
<b>Kuva 58.</b>	<i>Maaperän vaihtelua katuosuudella. Muokattu lähteen [10] pohjalta.....</i>	<i>68</i>
<b>Kuva 59.</b>	<i>Valituista kaduista kadut 1 - 6 ja 11 - 13 kartalla. Kartta muokattu lähteestä [36].....</i>	<i>70</i>
<b>Kuva 60.</b>	<i>Valituista kaduista kadut 7 - 10 ja 14 - 15 kartalla. Kartta muokattu lähteestä [36].....</i>	<i>71</i>
<b>Kuva 61.</b>	<i>Pääkatujen kantavuusmittaustulokset .....</i>	<i>78</i>
<b>Kuva 62.</b>	<i>Kokooja- ja teollisuuskatujen kantavuusmittaustulokset.....</i>	<i>78</i>
<b>Kuva 63.</b>	<i>Tonttikatujen kantavuusmittaustulokset .....</i>	<i>79</i>

<b>Kuva 64.</b>	<i>Mittausajankohdan ja maastokäynnin eroavaisuudet. Kuvassa vasemmalla videokuva ja oikealla maastokäynnin aikainen valokuva.....</i>	<i>80</i>
<b>Kuva 65.</b>	<i>IRI- ja URA -mittaustulosten kuntotasovastaavuudet [18, s. 12].....</i>	<i>81</i>
<b>Kuva 66.</b>	<i>Pääkatujen IRI-mittausten tulokset .....</i>	<i>83</i>
<b>Kuva 67.</b>	<i>Pääkatujen URA-mittausten tulokset.....</i>	<i>84</i>
<b>Kuva 68.</b>	<i>Kokooja- ja teollisuuskatujen IRI-mittausten tulokset .....</i>	<i>85</i>
<b>Kuva 69.</b>	<i>Kokooja- ja teollisuuskatujen URA-mittausten tulokset.....</i>	<i>85</i>
<b>Kuva 70.</b>	<i>Tonttikatujen IRI-mittausten tulokset .....</i>	<i>86</i>
<b>Kuva 71.</b>	<i>Tonttikatujen URA-mittausten tulokset.....</i>	<i>86</i>
<b>Kuva 72.</b>	<i>Mäntymaantie (vasen) ja Rajarinne (oikea).....</i>	<i>91</i>
<b>Kuva 73.</b>	<i>Kuivatusluokan 2 katuja. Ylärivissä: vasemmalla Jyrsijänkatu, muut kuvat Kauppapuistikolta. Alarivissä: vasemmalla Vanhan Vaasan katu, keskellä Kaarlentie, oikealla Uuspellontie.....</i>	<i>92</i>
<b>Kuva 74.</b>	<i>Kuivatusluokan 3 kuuluvia katuja. Vasemmalla Vanhan Vaasan katu, keskellä Liisanlehdontie ja oikealla Sorvarinkatu.....</i>	<i>92</i>
<b>Kuva 75.</b>	<i>Korjausvelkalaskimen raportti, tarkin laskelma .....</i>	<i>96</i>
<b>Kuva 76.</b>	<i>Tarkimman ja laajennetun laskennan vertailu .....</i>	<i>97</i>
<b>Kuva 77.</b>	<i>Kauppapuistikon ja Koulukadun korjausvelan laskenta paremmalla routivuushuokalla.....</i>	<i>97</i>
<b>Kuva 78.</b>	<i>Tietotason 3 eri luokittelujen vaikutukset korjausvelkalaskentaan .....</i>	<i>98</i>
<b>Kuva 79.</b>	<i>Korjausvelkalaskimen ja tutkimustuloksista laskettujen kuntatasojen vertailu .....</i>	<i>99</i>
<b>Kuva 80.</b>	<i>Korjausvelkalaskimella laskettujen manuaalisen kuntotason ja tietotasopohjaisen korjausvelkalaskennan vertailu.....</i>	<i>101</i>
<b>Kuva 81.</b>	<i>Tutkimuksessa mukana olleiden katujen kuntotasoarviot ja korjausvelkalaskelmat vuosina 2018 ja 2028.....</i>	<i>104</i>

## TAULUKKOLUETTELO

<b><i>Taulukko 1.</i></b>	<i>Tutkimukseen valikoituneet kadut.....</i>	<i>70</i>
<b><i>Taulukko 2.</i></b>	<i>Katujen toteutuneet kantavuusluokat .....</i>	<i>77</i>
<b><i>Taulukko 3.</i></b>	<i>Katujen IRI- ja URA -mittausten määrittelyarvot ja arvoja vastaavat kuntotasot .....</i>	<i>82</i>
<b><i>Taulukko 4.</i></b>	<i>Rakennekerrospaksuudet eri katuryhmässä .....</i>	<i>88</i>
<b><i>Taulukko 5.</i></b>	<i>Laskennallinen routanousu ja routivuusluokat kaduittain .....</i>	<i>89</i>
<b><i>Taulukko 6.</i></b>	<i>Katujen kuivatusluokat .....</i>	<i>90</i>
<b><i>Taulukko 7.</i></b>	<i>Kauppapuistikon ja Koulukadun sekä Mäntymaantien ja Rajarinteen tutkimustulosten vertailu.....</i>	<i>93</i>
<b><i>Taulukko 8.</i></b>	<i>Sorvarinkadun, Sepänkadun ja Jyrsijänselänkadun tutkimustulosten vertailu.....</i>	<i>94</i>
<b><i>Taulukko 9.</i></b>	<i>Pitäneväntie, Uuspellontie, Talkootien ja Hellaksentien tutkimustulosten vertailu .....</i>	<i>94</i>
<b><i>Taulukko 10.</i></b>	<i>Liisanlehdontien ja Kaarlentien tutkimustulosten vertailu .....</i>	<i>95</i>

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

5mIRI	Viiden metrin IRI. Kuvaa epätasaisuutta viiden metrin matkalla.
APVM	Automaattinen päällystevauriomittaus
DRI	Dynaaminen rasitusindeksi. Kuvaa raskaan liikenteen aiheuttamia rasituksia tie- tai katurakenteessa.
DGPS	Differential Global Positioning System, differentiaalinen GPS
$F_{mit}$	Mitoittava pakkasmäärä
GTK	Geologian Tutkimuskeskus
IRI	International Roughness Index. Kuvaa tien tai kadun pituussuuntaista epätasaisuutta, jonka autoilija kokee epämukavana
IRI4	IRI4:llä kuvataan päällysteen levitystyön laatua. Arvoon vaikuttaa epätasaisuudet, jotka ovat aallonpituudeltaan 0,5 - 4 m välillä.
KEHTO	Kuntien infra-alan kehittämisen haltuunotto ja toteutus
KKL	Kuormituskertaluku
KKL <sub>KAISTA</sub>	Kaistakohtainen kuormituskertaluku
KT02	Kunnallisteknisten töiden yleinen työselostus 02
MDI	Moisture Damage Index
PI	Pituusprofiilin poikkeamaindeksi
PPL	Pudotuspainolaite
PTM	Palvelutasomittaus
RN <sub>lask</sub>	Laskennallinen routanousu
RN <sub>sall</sub>	Sallittu routanousu
TSD	Traffic speed deflectometer. Mittalaite, jolla voidaan mitata taipumaa jatkuvalla mittauksella.
VO	Vaurio-osuus
VS	Vauriosumma

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Vaasan kaupunki on tehnyt katuverkolleen korjausvelkalaskennan vuosien 2014 - 2015 aikana. Laskenta on tehty käyttämällä KEHTO-foorumin (kuntien infra-alan kehittämisen haltuunotto ja toteutus), Rapal Oy:n ja Suomen Kuntotekniikka Oy:n yhteishankkeessa kehitettyä Excel-pohjaista korjausvelkalaskinta. Korjausvelan laskentamallissa käytettävät kertoimet ja kuntotason käyrästöt perustuvat KEHTO-foorumin jäsenkuntien teettämiin tutkimuksiin ja tutkimustuloksiin [46, s. 14].

Korjausvelkalaskimessa laskettu katujen korjausvelan määrä perustui katujen uudisarvoon, toiminnalliseen luokkaan, ikään, pohjamaaolosuhteisiin sekä päällysteen ja katurakenteen paksuusluokkaan. Katujen todellinen kuntotaso ja täten korjausvelan todellinen määrä saattaa kuitenkin olla suurempi tai pienempi kuin laskimesta saadut lukemat. Korjausvelkalaskimen 2015 vuoden versiossa katujen ikä on merkittävä tekijä ja laskin olettaa riittävän iäkkäät kadut automaattisesti huonokuntoisiksi. Iäkäs katu voi kuitenkin todellisuudessa olla hyväkuntoinen ja samoin uusi katu voi todellisuudessa olla kuntotasoiltaan heikommassa kunnossa kuin laskimesta saatu tulos osoittaa.

Korjausvelkalaskentaa tehtäessä Vaasan kantakaupungin kaduista on kerätty katujen rakentamis- tai saneerausvuodet, alusrakenteen luokka, päällysteen paksuusluokka, katurakenteen paksuus. Lisäksi kaduille on laskettu uudishinta. Myös kuntaliitoksessa 2013 Vaasaan liittyneen Vähänkyrön kaduista on kerätty samoja tietoja, mutta kuntaliitoksen yhteydessä siirtyneiden tietojen ja suunnitelmien vähäinen määrä on tuonut haasteita alueen katujen korjausvelkalaskentaan [48, s. 31].

Korjausvelkalaskennan yhteydessä tehdyssä opinnäytetyössä todettiin, että korjausvelkalaskimesta saatujen tulosten rinnalla olisi hyvä tehdä tarkentavia mittauksia [48, s. 64]. Korjausvelkalaskennan aikana kerättyä tietoa sekä laskennasta saatua kaduille kohdistuvaa korjausvelkaa olisi hyvä käyttää lähtötietona tarkempien tutkimusten kohdistamisessa. Pilottikohteena olevien katujen laajoilla tutkimuksilla olisi mahdollista selvittää katujen todellinen kuntotaso verrattuna korjausvelkalaskimesta saatavaan kuntotasaan. Monipuolisilla tutkimuksilla voitaisiin selvittää, mitä tutkimuksia käyttämällä katuverkon kuntoa olisi mahdollista tutkia riittävällä tarkkuudella koko kaupungin alueella. Lisäksi monipuolisilla tutkimuksilla voitaisiin selvittää, mitä tietoa eri tutkimusmenetelmillä saadaan, miten kuntotutkimustietoja voidaan hyödyntää katujen ylläpidon ja saneerausten objektiivisessa suunnittelussa sekä kuinka korjaustoimenpiteiden kohdistaminen voidaan perustella katujen käyttäjille ja mahdollisille asukkaille.



## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Vaasan kaupunki on tilannut tämän tutkimuksen, jonka tavoitteena on selvittää millaiset tutkimusmenetelmät soveltuvat kaupunkiympäristössä katujen kunnan määrittämiseen. Tavoitteena on myös tutkia, mitä menetelmiä voidaan hyödyntää korjausvelkalaskimen lähtötietojen määrittämisessä ja tulosten tarkentamisessa. Lisäksi tavoitteena on selvittää, millaisilla menetelmillä katujen kuivatusrakenteiden kuntoa voidaan tutkia ja millaisia vaikutuksia kuivatusrakenteiden kunnolla on korjausvelan kertymiseen. Kaduilla tehtävien tutkimusten ja tutkimustulosten avulla on tavoitteena selvittää, miten katujen saneerausjärjestystä voidaan priorisoida ja miten saneerausjärjestys voidaan perustella kaupungin asukkaille.

## 1.3 Tutkimuksen rajaus ja tutkimusmenetelmät

Tutkimus rajataan käsittelemään katu ympäristöä ja kadun rakenteita. Korjausvelan määrittäminen rajataan katuihin ja katujen kuivatusrakenteisiin. Vesi- ja viemärijohtojen kuntoa, vaurioitumista, kunnan seuranta ja ajan kuluessa syntyvää korjausvelkaa ei huomioida tässä tutkimuksessa. Tutkimuksen rajaukset on sovittu ja päätetty yhteistyössä tutkimuksen ohjaajien ja tilaajien kanssa.

Tutkimuksessa tutustutaan yleisimpiin katurakenteiden tutkimus- ja mittausten menetelmiin sekä korjausvelan määrittämiseen ja laskentaan olemassa olevien tieteellisten tutkimusten sekä kirjallisuuden avulla ja lisäksi asiantuntijoilta kyselemällä. Tutkimuksen aikana Vaasan katuverkolla tehdään myös tarkentavia tutkimuksia, joilla pyritään selvittämään katurakenteiden nykyistä kuntotaso lähtötiedoiltaan vaihtelevilla katuryhmillä. Kaduista tutkitaan katujen pinnan pituus- ja poikkisuuntaista tasaisuutta, pintavaurioiden määrää, päällysrakenteen kokonaisjäykkyyttä eli niin kutsuttua kantavuutta, kaduilla tapahtuvaa routanousua sekä kadun kuivatuksen toimivuutta.

Tässä työssä ei tehdä tutkimuksia kaikille Vaasan kaduille, vaan tutkimukset rajoitetaan 15 kadun otantaan. Tutkittavien katujen määrittämisessä hyödynnetään Vaasan kaupungilla olevaa saneeraustarpeessa olevien katujen listausta sekä vuosien 2014 - 2015 aikana tehdyn korjausvelkalaskennan tuloksia. Saneerattavien katujen listauksessa on katuja, jotka ovat kunnossapidolta tulleen palautteen tai asiakaspalautteen mukaan huonossa kunnossa ja korjaustarpeessa. Listauksessa on huomioitu myös Vaasan Veden tulevat saneeraustarpeet. Huonokuntoiseksi ilmoitetuille kaduille etsitään korjausvelkalaskimen tietojen avulla vertailukohteiksi lähtötiedoiltaan vastaavanlaisia katuja. Korjausvelkalaskimessa katujen kuntotaso on sama, mutta vertailukadut eivät ole mukana saneerattavien katujen listauksessa.

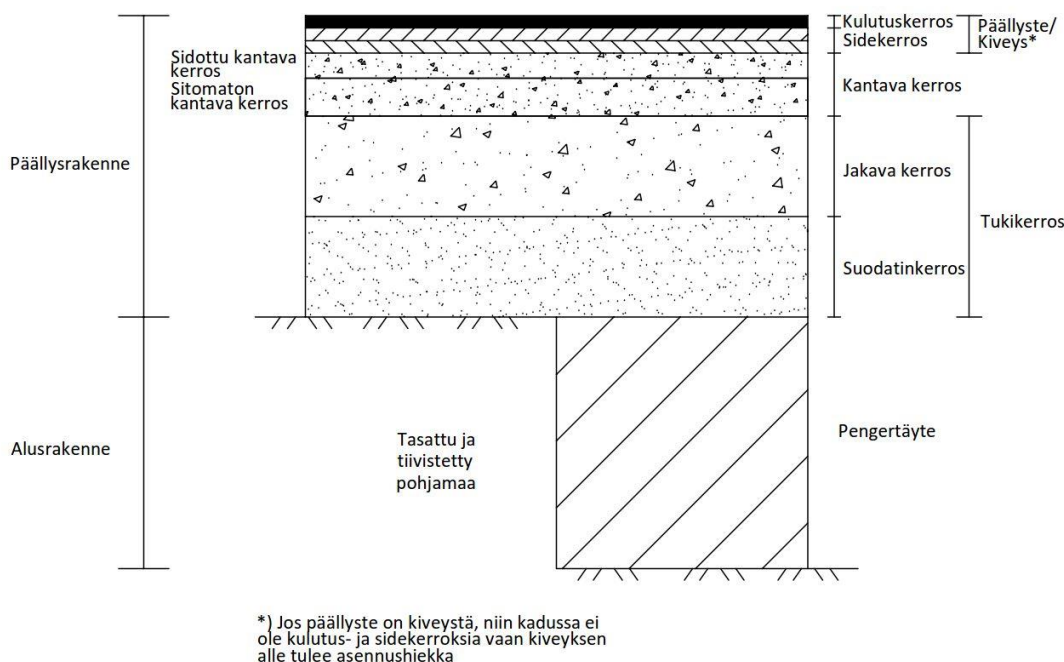
## 2. KATURAKENNE JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Katu- ja tierakenteet ovat periaatteeltaan samanlaisia, ja molemmissa rakenne jaetaan alus- ja päällysrakenteeseen. Katurakenteet ovat kuitenkin usein ohuempia kuin tierakenteet ja rakennekerrospaksuus saatetaan määrittää vakiomittaisilla kerrosrakenteilla tarkan kerrospaksuuden mitoittamisen sijaan. Lisäksi kadut ovat monikäyttötiloja, jotka palvelevat erimuotoisten liikkumistapojen lisäksi oleilua sekä monipuolista laite- ja varustefraa. Kaduilla ja teillä käytettävät mitoitus- ja tutkimusmenetelmät ovat katu- ja tierakenteiden samankaltaisuuden vuoksi pääosin samanlaisia. Tierakenteiden suunnitteluhjetta ja mitoitusohjeita sovelletaan usein myös katurakenteisiin, minkä seurauksena alla olevissa luvuissa käsitellään paljon tierakenteita katurakenteiden lisäksi. Tutkimusmenetelmistä osa on alun perin kehitetty tierakenteiden tutkimuksiin, minkä seurauksena osa tutkimusmenetelmistä soveltuu katuja paremmin teille. Teillä on myös mahdollista suorittaa pitkiä matkoja häiriötöntä jatkuvaa mittausta.

### 2.1 Kadun rakenne

Katurakenne koostuu alus- ja päällysrakenteista. Alusrakenne on varsinaisten rakennekerrosten alapuolella oleva pohjamaa tai pengerrys. Alusrakenteena voi toimia myös massanvaihtorakenne. Päällysrakenteen tehtävä on jakaa kadun pintaan kohdistuva kuormitus alusrakenteeseen. Päällysrakenne jaetaan päällysteeseen, kantavaan kerrokseen ja tukikerrokseen. Tukikerros muodostuu jakavasta kerroksesta sekä suodatinkerroksesta, jotka ovat sitomattomia kerroksia. Joskus rakenteissa suodatinkerros korvataan paksummalla jakavalla kerroksella sekä jakavan kerroksen ja pohjamaan tai penkereen väliin tulevalle suodatinkankaalla. [23, liite 20000/3].

Kantava kerros jakautuu sidottuun ja sitomattomaan osaan, joista sitomaton osa on jakavan kerroksen päällä. Sidottua kantavaa kerrosta käytetään harvemmin katurakenteissa. Kerros tehdään sitomattoman kantavan kerroksen ja päällysteen väliin. Kantavan kerroksen sidonta ja stabilointi voidaan tehdä esimerkiksi sementtistabilointina (SST) tai bitumistabilointia (BST) [62, s. 28]. Yleisimmin kantava kerros koostuu sitomattomasta murskeesta. Päällystekerroksessa voi olla useita sidekerroksia joista päällimmäisenä on kulutuskerros, joka näkyy myös katujen käyttäjille. Päällystekerros voidaan korvata myös murskepintauksella tai kiveyksillä, joita käytetään usein esimerkiksi keskustojen kävelykaduilla. Katujen alus- ja päällysrakenteiden jaottelu on esitetty tarkemmin kuvassa 1. Rakenteissa ei ole aina kaikkia esitettyjä rakennekerroksia, vaan katurakenteet suunnitellaan tapauskohtaisesti. [23, liite 20000/3].



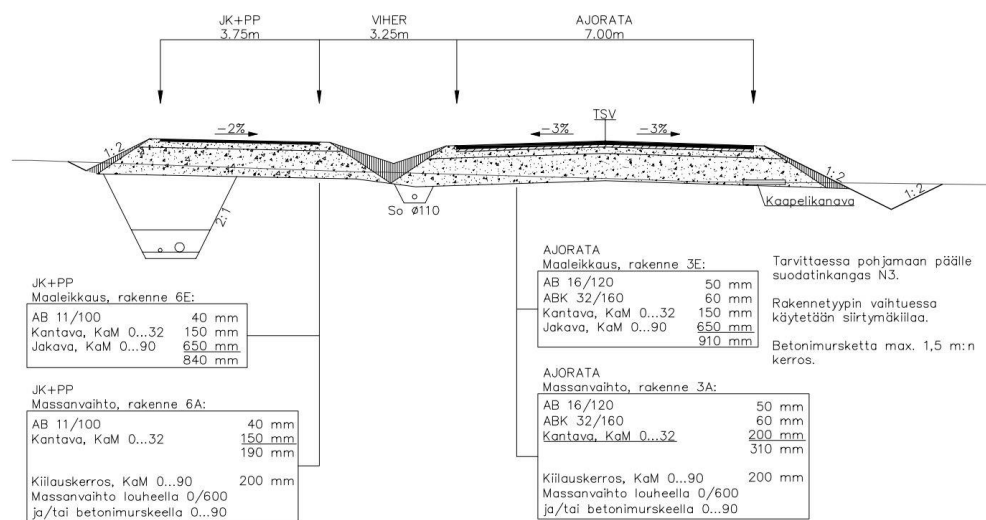
**Kuva 1.** Kadun rakennekerrokset

Katujen ja teiden päällysrakennekerrokset ovat pääasiassa samanlaisia. Tierakenteet mitoitetaan kuormituskestävyyden ja roudan suhteen siten, että rakenne kestää liikennekuormitusta, routaa ja muita sääolosuhteiden rasitusta [62, s. 24]. Tien luokitus, liikennemäärät, maantieteellinen sijainti ja pohjamaaolosuhteet vaikuttavat tieltä vaadittaviin kantavuuksiin ja sallittuun routanousumäärään sekä rakennekerrosten paksuuteen [62, s. 29 - 31, 41, 43 - 44]. Kaupungeilla ja kunnilla saattaa olla vakioituneet paksuudet katujen ja muiden väylien päällysrakenteille, jolloin rakennekerrosten paksuudet pysyvät samoina katujen sijainnista riippumatta. Tarvittaessa kaduille tehdään tarkempaa mitoittamista, etenkin jos kadulla on suuret liikennemäärät tai huonot pohjaolosuhteet.

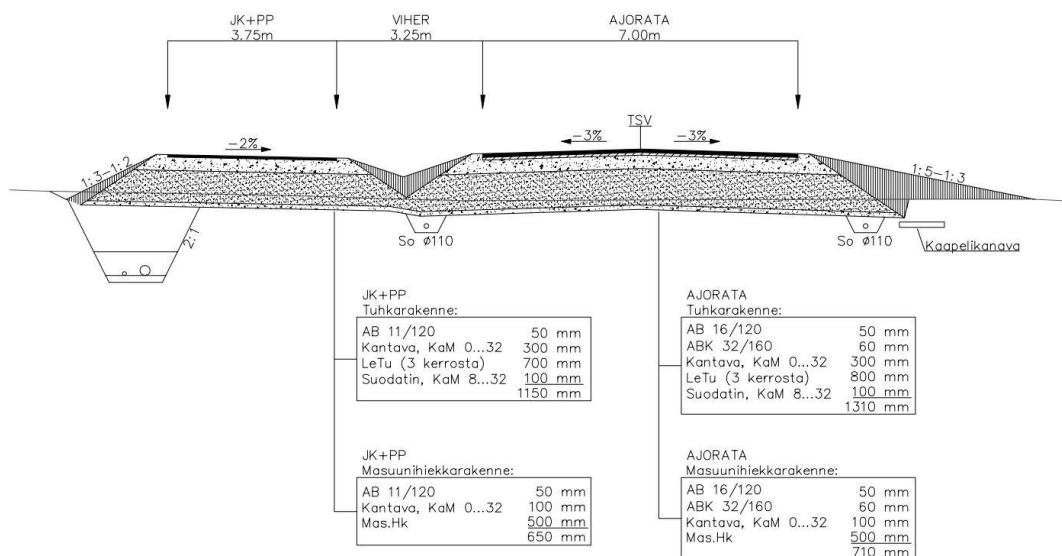
Kuivatus on olennainen osa katu- ja tierakennetta rakenteen kunnossa pysymisen kannalta, koska rakenteessa ja pohjamaassa oleva ylimääräinen vesi yhdessä kuormituksen ja routasykliä kanssa on suurin syy rakenteiden vaurioihin [53, s. 3]. Kuivatus voidaan hoitaa salaojilla, sivuojilla, hulevesiviemäröinnillä tai näiden yhdistelmillä. Reunakivellisessä poikkileikkauksessa hulevesiviemäröinnin käyttäminen on välttämätöntä, jotta vesi saadaan poistettua kadun pinnalta. Reunakivettömässä poikkileikkauksessa kuivatus voidaan hoitaa sivuojilla ja kadun pinnan kallistuksilla. Pintakuivatuksen lisäksi myös rakenteen muun kuivatuksen pitää toimia ja se hoidetaan esimerkiksi sijoittamalla salaojat päällysrakenteen alapinnan alapuolelle siten, että alusrakenteen pohja viettää kohti salaojaa [16][23, s. 37 - 38]. Kuvassa 2 on esimerkki reunakivellisestä ja hulevesiviemäröidystä poikkileikkauksesta ja kuvassa 3 sivuojallisesta poikkileikkauksesta.



Vaasassa ei ole käytössä vakiopaksuuksia katujen rakennekerroksille, vaan katujen rakennekerrokset ja rakenne vaihtelevat tapauskohtaisesti. Rakenteet suunnitellaan kuitenkin liikennemäärien ja pohjamaan asettamien ehtojen mukaisesti. Kaupungissa on käytetty myös uusiomateriaaleja katujen rakennekerroksissa. Alla on esimerkki suunnitellusta kokoojakadun tyyppipoikkileikkauksesta, jossa on ajorata sekä jalankulku- ja pyöräilyväylä. Kuvan 4 poikkileikkauksessa on käytetty kiviainesperäisiä materiaaleja ja kuvan 5 poikkileikkauksessa tuhka- tai masuunihiekkarakennetta. Tuhkarakenteessa kantavan kerroksen paksuutta kasvatetaan, jakava kerros korvataan lentotuhkalla, jonka ylä- ja alapintaan asennetaan suodatinkangas ja tuhkan alle asennetaan suodatinkerros. Masuunihiekkarakenteessa jakava kerros korvataan masuunihiekalla ja kantavaa kerrosta ohennetaan.

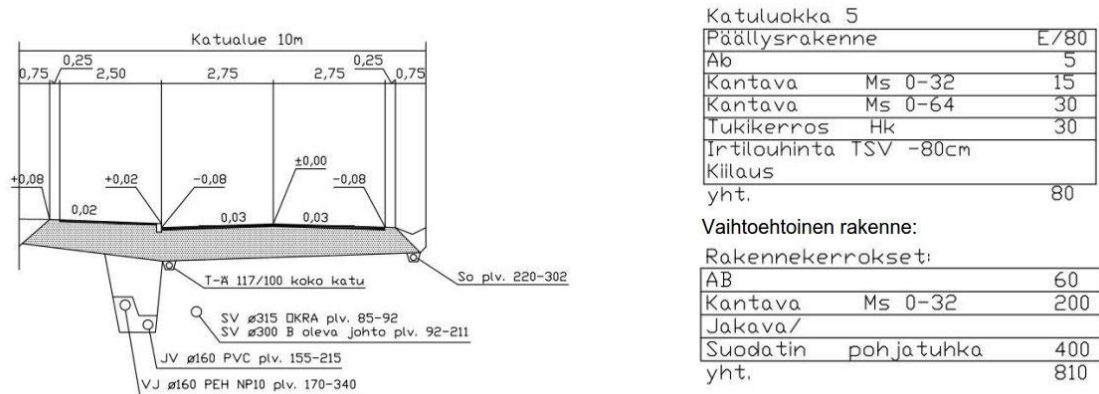


**Kuva 4. Itäinen ratakatu, rakennekerrokset kiviaineksesta [17]**



**Kuva 5. Itäinen ratakatu, rakennekerrokset uusiomateriaaleista [17]**

Kuvassa 6 on esitetty tonttikadun poikkileikkaus sekä kadun rakennekerrokset. Kyseisellä kadulla on mahdollista käyttää kiviainesperäisiä rakennekerroksia tai vaihtoehtoisesti pohjatuhkakerrosta. Rakenteen kokonaispaksuus pysyy suunnilleen samana molemmilla rakennekerrosvaihtoehdoilla. Pohjatuhkaa käyttämällä voidaan saavuttaa rakentamisen aikaisia kustannussäästöjä. Tuhkarakenteella kadun routiminen on myös usein pienempää kuin tilanteessa, jossa käytetään pelkästään kiviaineksia. [39].



**Kuva 6.** Puskantien tyyppipoikkileikkaus ja rakennekerrokset. Kuva muokattu lähteestä [39].

## 2.2 Katurakenteen mitoitus

Katu- ja tierakenteiden mitoitusta on mahdollista tarkastella kuormituskestävyys-, routa- sekä painumamitoituksen kannalta. Ylempiluokkaisilla ja liikennemääriltään vilkkailla teillä kaikki mitoituslaskelmat tehdään useammin kuin katurakenteilla. Katurakenteilla kaduille tehdään usein kuormituskestävyysmitoitus, mutta routa- ja painumamitoitukset ovat harvinaisempia. Routamitoitus ja painumamitoitus eivät aina ole merkityksellisiä, jos pohjamaan tiedetään olevan tasalaatuista, routimatonta ja vähän painuvaa. Mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat liikenne- ja ilmastorasitukset sekä pohjamaa ja siitä aiheutuvat tekijät.

### 2.2.1 Kuormituskestävyysmitoitus

Katujen ja teiden kuormituskestävyysmitoitus eroaa toisistaan, vaikka väylien rakenteet ovatkin samankaltaisia. Kadut on jaettu toiminnallisen luokan ja liikennemäärien perusteella kuuteen eri katuluokkaan, joista katuluokalla kuusi tarkoitetaan jalkakäytäviä, pyöriteitä ja muita väyliä, joilla ei ole ajoneuvoliikennettä kunnossapidon lisäksi [16]. Teillä jaottelu ja vaadittavat kantavuudet määritellään kuormitusluokkien mukaisesti ja tähän luokitteluun vaikuttaa tiellä kulkevat liikennemäärät [62, s. 29 - 31]. Tiet ovat usein paljon pidempiä kuin kadut ja täten olosuhde- ja pohjamaavaihtelut voivat olla merkittävästi suurempia kuin kaduilla.

Katujen kuormituskestävyysmitoituksessa eri katuluokille on annettu tavoitekantavuudet jakavan, kantavan, sidotun sekä päällystekerroksen päältä. Tavoitekantavuudet vaihtelevat kadun alla olevan pohjamaan ja pohjamaaluokituksen perusteella. Katujen päällysrakennemitoituksessa pohjamaa on jaettu luokkiin A-G, joissa A vastaa kalliota ja G savea, liejua tai turvetta. Kuvassa 7 on esitetty katurakenteiden mitoituksessa käytettävät kantavuusarvot eri pohjamaaluokilla. [16].

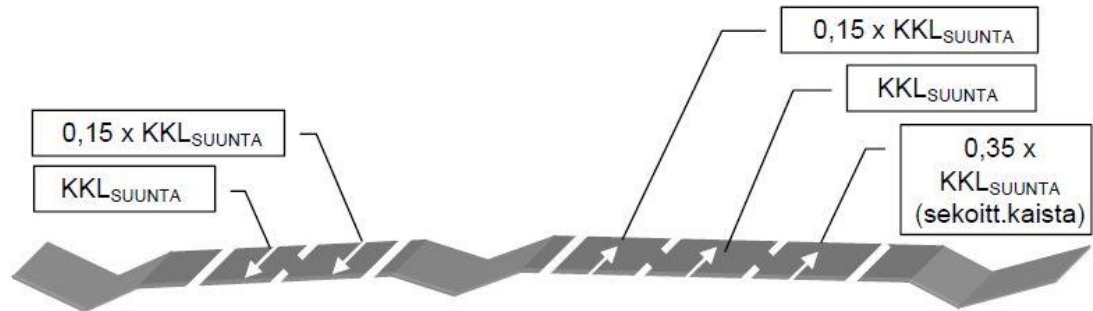
A	= 300 MN/m <sup>2</sup>
B	= 200 MN/m <sup>2</sup> (150...280)
C	= 100 MN/m <sup>2</sup> (70...150)
D	= 50 MN/m <sup>2</sup> (35...70)
E	= 20 MN/m <sup>2</sup> (15...35)
F	= 10 MN/m <sup>2</sup> (5...15)
G	= 5 MN/m <sup>2</sup>

**Kuva 7.** Pohjamaan kantavuusluokitukset katurakenteilla [16]

Tierakenteilla mitoitusarvoja ei katsota taulukosta yhtä suoraviivaisesti kuin katurakenteilla. Katu- ja tierakenteita kuormittava rasitus aiheutuu liikenteestä ja tätä liikennerasitusta kuvataan kuormituskertaluvulla (KKL) [57, s. 3][62, s. 25]. Liikenteen aiheuttama rasitus lasketaan tierakenteille kaistakohtaisella kuormituskertaluvulla ( $KKL_{KAISTA}$ ) ja tämä  $KKL_{KAISTA}$ -luku lasketaan 20 vuoden ajalta. Kestoikä päällysteellä on todellisuudessa lyhyempi ja muulla rakenteella pidempi kuin 20 vuotta.  $KKL_{KAISTA}$ -lukemaan vaikuttaa keskimääräinen vuorokausiliikenne, erilaisten ajoneuvoyhdistelmien ja muun raskaan liikenteen määrä, kaistan ja pientareen leveys sekä sisäluiskan kaltevuus. [62, s. 25].

Kaksikaistaisille teille on kehitetty kolme tapaa laskea  $KKL_{KAISTA}$ . Eri tavat riippuvat lähtötietojen määrästä ja luotettavuudesta, liikennemäärästä sekä mahdollisesta tiedossa olevasta poikkeuksellisen suuresta raskaan liikenteen määrästä. Laskentatavat on kerrottu lisää Tierakenteen suunnittelu -ohjeessa [62, s. 26]. Yli kaksikaistaisissa poikkileikkauksissa yhteen suuntaan menevien kaistojen kuormituskertalukujen määrittämisessä käytetään suunnitteluohjeessa olevia kertoimia. Useamman samaan suuntaan kulkevan kaistan  $KKL_{KAISTA}$  -arvon määrittämisessä käytettävät kertoimet on esitetty kuvassa 8. Kertoimista, niiden muodostumisesta ja selitteistä on kerrottu lisää Tierakenteen suunnittelu -ohjeessa. [62, s. 25 - 27].

Reunimmainen kääntyvä kaista tai yli 2 m piennar	Sekoittumiskaista	Pääkaista eli reunimmainen jatkuva kaista	Toinen jatkuva kaista	Kolmas jatkuva kaista	Vähintään 2,25 m leveä piennar
0,15 x KKL <sub>SUUNTA</sub>	0,35 x KKL <sub>SUUNTA</sub>	1,00 x KKL <sub>SUUNTA</sub>	0,15 x KKL <sub>SUUNTA</sub>	0,15 x KKL <sub>SUUNTA</sub>	0,15 x KKL <sub>SUUNTA</sub>



**Kuva 8.** Kaistakohtaiset kertoimet useammalla samaan suuntaan kulkevalla kais-talla kuormituskertalukujen määrittämisessä [62, s. 27]

KKL<sub>KAISTA</sub> -arvon ja päällystetyypin perusteella voidaan määrittää tierakenteelle kuor-mitusluokka ja tavoitekantavuudet [62, s. 28]. Toisin kuin katurakenteilla tierakenteella pohjamaan luokitus ei vaikuta tavoitekantavuuteen. Tarkempi kuormituskestävyysmitoi-tus molemmille rakenteille tehdään Odemarkin kaavalla (1)

$$E_p = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 * \left(\frac{h}{a}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 * \left(\frac{h}{a}\right)^2 * \left(\frac{E}{E_A}\right)^2}}}, \quad (1)$$

jossa  $E_A$  on mitoittettavan kerroksen alta saavutettava kantavuus,  $E_p$  on mitoittettavan kerroksen päältä saavutettava kantavuus,  $E$  on mitoittettavan kerroksen  $E$ -moduuli,  $h$  on mitoittettavan kerroksen paksuus ja  $a$  on vakiolukema. Kantavuudet ovat megapascallei-na, kerrospaksuus on metreinä ja vakion  $a$  arvo on 0,15 m. [62, s. 32 - 33].

Odemarkin kaavalla kantavuudet lasketaan määritettyjen kerrosrajojen yläpinnalle, siten että kantavuus lasketaan pohjamaan päälle tulevasta kerroksesta ylöspäin päällysteen pintaan. Rakennekerroksien ja päällysteen yläpinnan kantavuuden on tarkoitus saavuttaa minimissään kohteelle asetettu tavoitekantavuus. Odemarkin kaavalla lasketaan usein kantavuus kantavan kerroksen yläpinnasta sekä päällysteen päältä. Kantavuusmitoituk-sessa määritellään riittävät rakennekerrospaksuudet vaadittujen kantavuusarvojen saa-vuttamiseksi. Odemarkin kaavaa käytettäessä sitomattomien rakennekerrosten kaavaan soveltuva kerrospaksuus on 200 - 300 millimetriä [62, s. 32]. Suodatinkerros sekä jaka-



va ja kantava kerros pitää monesti jakaa useampaan osaan laskennassa, jotta laskenta voidaan tehdä kaavaan soveltuvilla kerrospaksuuksilla.

Pohjamaan kantavuusarvot ovat olennainen osa Odemark-mitoitusta. Pohjamaan kanta- vuus- ja alusrakenneluokat on esitetty muun muassa InfraRYLissä sekä Tierakenteen suunnittelu -ohjeessa [62]. Näistä ohjeista löytyy lisätietoa pohjamaaluokista sekä niiden määrittelystä. Tierakenteilla käytettävät alusrakenne- ja pohjamaaluokitukset on esitetty kuvassa 9. Verrattaessa kuvien 7 ja 9 alusrakenneluokituksia havaitaan, että tie- ja katurakenteilla alusrakenne- ja pohjamaaluokitukset eroavat toisistaan. Mitoitusta tehtäessä on huomioitava, minkä luokituksen mukaisesti pohjamaa on määritelty.

<b>Luokka</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>uE</b>	<b>uF</b>	<b>uG</b>	<b>uH</b>	<b>uI</b>
Moduuli MPa	280	200	100	70	50	35	10	20	20
t-arvo, %	0	0	0	0	3	6	6	12	16
Maalaji tai kelpoisuus luokka ja märkyys	Louhe	Murs- ke	kuS1 mS1	kuS2 kuH1 mH1	mS2 kuS3 kuH2 mH2	mS3 kuH3-4 kuS4 jäySa staSi staSiMr staSa	pehSa Lj	mS4 mH3-4 kuSi kuSiMr  kerrall. kuSa/Si	mSi, mSiMr,  kerrall. mSa/Si

**Kuva 9.** Alusrakenneluokat Tierakenteen suunnittelu -ohjeen mukaisesti [62, s. 37]

## 2.2.2 Routamitoitus

Katujen ja teiden päällysrakenteen vaurioitumisriski on routivilla pohjamailla suurempi kuin routimattomilla. Routavauriot rakenteessa ovat usein seurausta suuresta ja epäta- saisesta routanoususta, jotka halkaisevat päällysteen ja rakenteen. Routimista voidaan pienentää routasuojauksella, johon voidaan käyttää esimerkiksi riittävän paksuja routi- mattomista materiaaleista tehtyjä rakennekerroksia tai routimattomista materiaaleista sekä eristeistä tehtyjä rakennekerroksia. Routan tunkeutumisvyvyys vaihtelee maantie- teellisen sijainnin ja ilmasto-olosuhteiden mukaan, mikä tulee ottaa huomioon routami- toituksessa. [52, s. 4].

Katujen ja teiden pintojen routanousulle on asetettu laskennalliset vaatimukset, jotka vaihtelevat katu- ja tieluokan mukaan. Kaduilla jaottelu on epätarkempaa, ja sallituksi laskennalliseksi routanousuksi ( $RN_{sall}$ ) on määritetty 75 millimetriä pääkaduilla ja 100 millimetriä päällystetyillä pihakaduilla.  $RN_{sall}$ -arvon suuruuteen vaikuttaa muun muassa tien nopeusrajoitus, tien luokittelu, liikennemäärät, pohjamaa sekä se, onko tiellä reuna- tukea. [16][62, s. 41]. Routanousun lisäksi myös kaltevuuden muutoksille on asetettu ra- ja-arvoja. Kaduilla nopeusrajoitukset ovat alhaisempia kuin teillä, joten nopeuden vai- kutuksesta ajoturvallisuuteen ja -mukavuuteen ei aiheudu niin suuria eroja eriluokkais- ten katujen kuin eriluokkaisten teiden välillä.

Routamitoituksessa lasketaan kadun tai tien pinnan routanousu suunnitellulle rakenneratkaisulle ja tätä laskennallista routanousua ( $RN_{lask}$ ) verrataan  $RN_{sall}$  arvoon [52, s. 5].  $RN_{lask}$ -arvo routimattomalla rakenteella lasketaan kaavalla (2)

$$RN_{lask} = (S - a_1 * R_1 - a_2 * R_2 jne) * \frac{t}{100}, \quad (2)$$

ja  $RN_{lask}$ -arvo, jos rakenteessa on lievästi routivia rakenteita, lasketaan kaavalla (3)

$$RN_{lask} = (S - a_1 * R_1 - a_2 * R_2 - a_{rva} * R_{rva} jne) * \frac{t}{100} + R_{rva} * \frac{t_{rva}}{100}, \quad (3)$$

joissa S on mitoitusroudansyvyys millimetreinä,

$R_i$  on routimattoman kerroksen paksuus millimetreinä,

$a_i$  on materiaalien eristävyyskerroin,

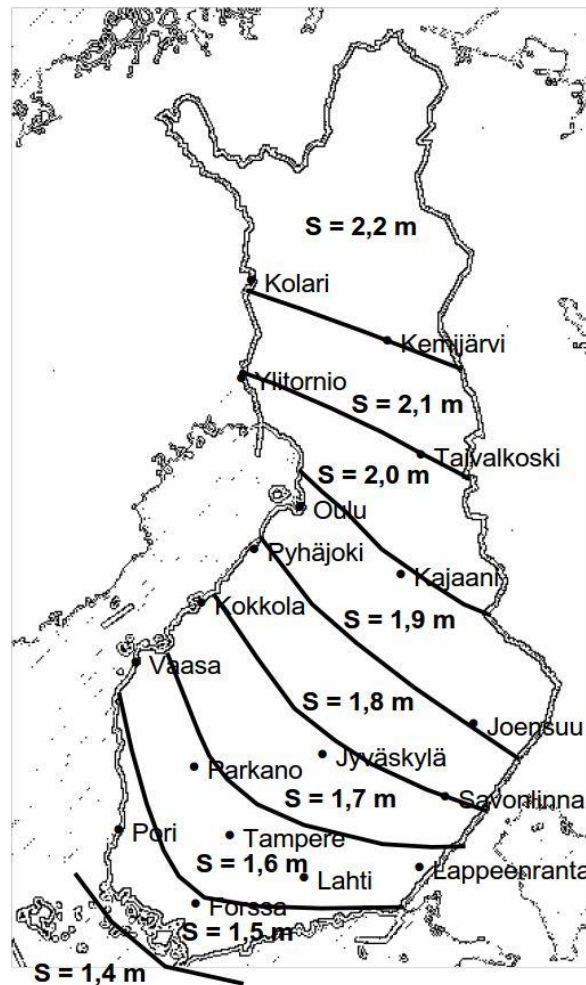
t on alusrakenteen routaturpoama prosenttilukuna,

$R_{rva}$  on routivan rakennekerroksen paksuus millimetreinä,

$a_{rva}$  on routivan kerrosmateriaalin eristävyyskerroin, useimmiten  $a_{rva}$  arvo on 1, ja

$t_{rva}$  on routivan kerrosmateriaalin routaturpoama prosenttilukuina [62, s. 42].

Mitoitusroudansyvyys eri puolella Suomea on esitetty kuvassa 10. Mitoitusroudansyvyys (S) on mahdollista laskea myös mitoittavan pakkasmäärän ( $F_{mit}$ ) perusteella kaavalla  $S = 12 * \sqrt{F_{mit}}$ , jos käytetään vaihtoehtoisia mitoitusmenetelmiä [62, s.43]. Rakennekerrosmateriaalien eristävyyskertoimia ja alusrakenteen routaturpoama-arvoja on lisää Tierakenteen suunnittelu -ohjeessa [62]. Ohjeessa on esitetty myös muun muassa routaturpoaman paikallinen määrittäminen sekä siirtymäkiilojen mitoitus [62, s. 44 - 50]. Saarelainen [52] on tehnyt routamitoituksesta myös menetelmäkuvauksen, jossa käsitellään rakenteen routamitoitusta tarkemmin. Sallittujen routanousujen ja routanousun aiheuttamia kaltevuuden muutoksia katu- ja tierakenteilla on käsitelty tarkemmin InfraRYLissä [16].



*Kuva 10. Mitoitusroudansyvyyden arvoja Suomessa [62, s. 43]*

### 2.3 Katurakenteiden laatuvaatimukset

Katurakenteelle on asetettu laatuvaatimuksia muun muassa käyttöiän, kantavuuden, rakennepaksuuden ja mittatoleranssien suhteen. Laatuvaatimuksia on usein esitetty suunnitelma-asiakirjoissa ja niitä on myös yleisissä työselostuksissa. Rakenteille laaditut tekniset vaatimukset ovat vaatimuksia, jotka rakenteen tulee täyttää valmistumishetkellä, mutta rakenteen käyttöiän aikana rakenteen kunto ja muoto muuttuvat [16]. Laatuvaatimusten toteutumisen ja rakenteen kunnon selvittämiseksi on kehitetty useita tutkimusmenetelmiä, joilla voidaan todeta rakenteen laatu- ja kuntotaso.

Katujen rakentamiseen ja laadunvalvontaan on laadittu yleisiä työselostuksia, joissa on määritetty esimerkiksi rakenteille minimipaksuuksia ja vaadittuja kantavuusarvoja sekä kunnallistekniikan putkille minimietäisyyksiä. Vuonna 2002 ilmestyi Kunnallisteknisten töiden yleinen työselostus 02 (KT02), joka korvasi julkaisun Kunnallisteknisten töiden yleinen työselitys 97 ja jossa esitettiin sitovia laatu-, materiaali- ja mittavaatimuksia, rakenneratkaisuja sekä laadun toteamisen keinoja [23, s. 5]. KT02-julkaisussa on myös työohjeita, joita suositellaan noudatettaviksi, jos rakennuskohteen suunnitelmissa, työ-

selostuksessa tai muissa rakentamisasiakirjoissa ei ole otettu kantaa toteutustapaan [23, s. 5].

Nykyisin KT02 on pääasiassa korvattu vuonna 2006 ilmestyneellä Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset InfraRYL 2006 -julkaisulla ja sen päivitettyillä versioilla, joissa on ensimmäistä kertaa luotu infra-alalle yhteinen kuvaus infrarakenteiden laatuvaatimuksista [16][65, s. 22]. Keskeisimpiä lähteitä InfraRYL -julkaisulle ovat Tierakennustöiden yleiset laatuvaatimukset (TYLT), KT02 sekä alan suunnitteluohjeet [65, s. 22].

InfraRYL sisältää kaksi osaa, jotka ovat toimivuusvaatimukset sekä tekniset vaatimukset. Toimivuusvaatimusten ja teknisten vaatimusten sisältö on esitetty kuvassa 11. Toimivuusvaatimukset sisältävät tie-, katu- ja ratarakenteet sekä liikunta- ja virkistyspaikkojen rakenteiden tekniset toimivuusvaatimukset. InfraRYLissä on määritetty katurakenteille esimerkiksi käyttöikävaatimuksia ja toimivuusvaatimuksia tasaisuuden, kaltevuuden ja vauriottomuuden osalta. Teknisissä vaatimuksissa on laatuvaatimukset maa- pohja- ja kalliorakenteille, päälly- ja pintarakenteille, erilaisille järjestelmille sekä rakennusteknisille rakennusosille. [16].

TOIMIVUUSVAATIMUKSET		TOIMIVUUSVAATIMUKSET	
TEKNISET VAATIMUKSET		TEKNISET VAATIMUKSET	
10000	Tierakenteet	10000	Maa-, pohja- ja kalliorakenteet
20000	Katurakenteet	20000	Päälly- ja pintarakenteet
30000	Ratarakenteet	30000	Järjestelmät
50000	Liikunta- ja virkistyspaikkojen rakenteiden tekniset toimivuusvaatimukset	40000	Rakennustekniset rakennusosat

*Kuva 11. InfraRYL:n mukaiset toimivuusvaatimukset ja tekniset vaatimukset [16]*

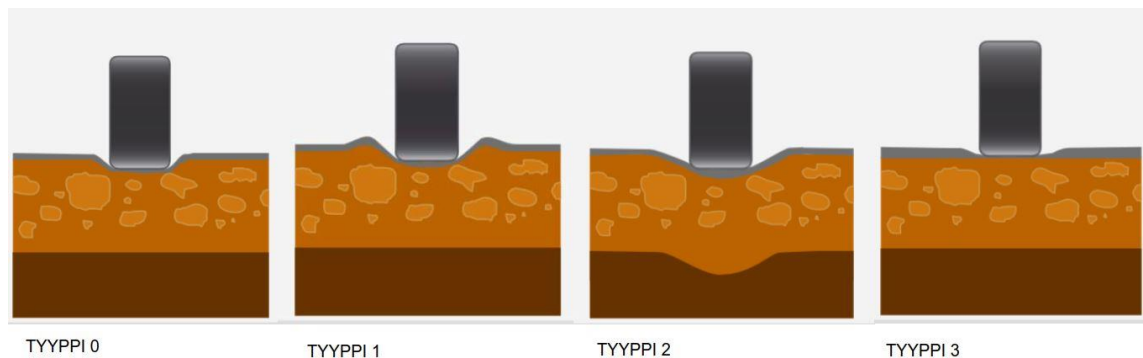
## 2.4 Katujen vaurioituminen

Katujen vaurioitumista aiheuttavat ajoneuvo- ja liikennekuormitus sekä ympäristökuormitukset kuten esimerkiksi routiminen ja lämpötilanmuutokset [7, s. 313, 320, 326][60, s. 38]. Vaurioitumisen syitä ovat usein kadun rakenteen tai alusrakenteen riittämätön kantavuus sekä puutteellisen kuivatuksen seurauksena kadun rakenteessa tai pinnalla oleva vesi, joka aiheuttaa rakennekerrosten lujuuden alenemista [7, s. 119, 313][60, s. 38]. Vaurioitumiselle on tyypillistä, että halkeamat ja vauriot syntyvät eri aikoina useissa paikoissa ja vaurioitumisen, kuten halkeilun, jälkeen katurakenne toimii eri tavalla kuin ehjänä rakenteena [57, s. 4]. Katujen päällystettä ja rakenteita ei mitoiteta ikuisiksi, joten vaurioitumista voi aiheuttaa myös kadun mitoitusiän ylittyminen [62, s. 25]. Vaurioitumista voi aiheuttaa myös kaapeleiden, vesihuollon tai muun kadun pinnan alla kulkevan kunnallistekniikan korjaukset.

Katujen vaurioituminen näkyy kadun päällystekerroksessa urautumisena, halkeiluna tai reikiintymisenä sekä erilaisina painumina. Vaurioitumisen syyt voivat olla päällystees-

sä, rakennekerroksissa tai molemmissa, mutta vaikutukset heijastuvat aina rakenteen pintaan ja näkyvät päällystekerroksen kunnossa. Vaurioituminen voi olla seurausta rakenteen väsymisestä, iän myötä tapahtuvasta kulumisesta, puutteellisesta mitoituksista, heikkolaatuisista materiaaleista tai työvirheistä. Rakenteen väsyminen ilmenee asfaltti-päällysteissä halkeamien lisäksi jäykkyyden heikentymisenä. [7, s. 313][41, s. 24][60, s. 38].

Katujen päällysteessä oleva urautuminen voidaan jakaa neljään urautumistyyppiin, jotka ovat tiivistyminen (tyyppi 0), muodonmuutokset päällysrakenteen yläosassa (tyyppi 1), muodonmuutokset pohjamaan rajapinnassa (tyyppi 2) ja päällysteen kuluminen (tyyppi 3) [4, s. 12 - 17]. Urautumistyyppit on esitetty kuvassa 12. Kadun päällysteen halkeilu voi olla pituus- tai poikkisuuntaista halkeilua tai verkkohalkeilua ja halkeilun syitä ovat esimerkiksi routiminen, pituussuuntaiset vetohalkeamat tai puutteellinen kantavuus rakennekerroksissa tai alusrakenteessa [41, s. 25].



**Kuva 12.** Kadun urautumistyyppit. Kuva muokattu lähteestä [40].

Kunnallistekniikan, kuten vesi- ja viemärijohtojen, erilaisten kaapeleiden tai kaukolämmön ja -jäähdytyksen, asentaminen muulloin kuin kadun rakentamisen tai saneerauksen yhteydessä vaikuttaa aina kadun rakenteeseen ja päällysteeseen. Myös huonosti tehty siirtymärakenne esimerkiksi rumpujen tai kaapeleiden alla voi vaikuttaa katujen kuntoon epätasaisena painumisena. Kuvassa 13 on esitetty tilanne, jossa jalankulku- ja pyöräväylän poikkisuunnassa rakenne on haljennut ja hieman painunut oletettavasti kaapelien tai jonkin muun rakenteeseen asennetun putken päältä. Jälkeenpäin asennettavien kunnallisteknisten rakenteiden rakennekerroksista ei saada yhtä tiiviitä ja homogeenisiä kuin silloin, kun rakennekerrokset tehdään ja tiivistetään yhtenä kokonaisuutena. Tämä ei silti välttämättä vaikuta rakenteen toiminnalliseen kuntoon. Myöhemmin tehtävissä asennuksissa päällysteeseen tulee aina sauma, joka on ehjää rakennetta heikompi kohta ja alttiimpi vaurioitumiselle. Tällaisia tilanteita on esitetty kuvissa 14 ja 15.





***Kuva 13.** Väylän alittavan johdon tai kaapelin kohdalla on syntynyt painumaa ja asfaltti on hajonnut*



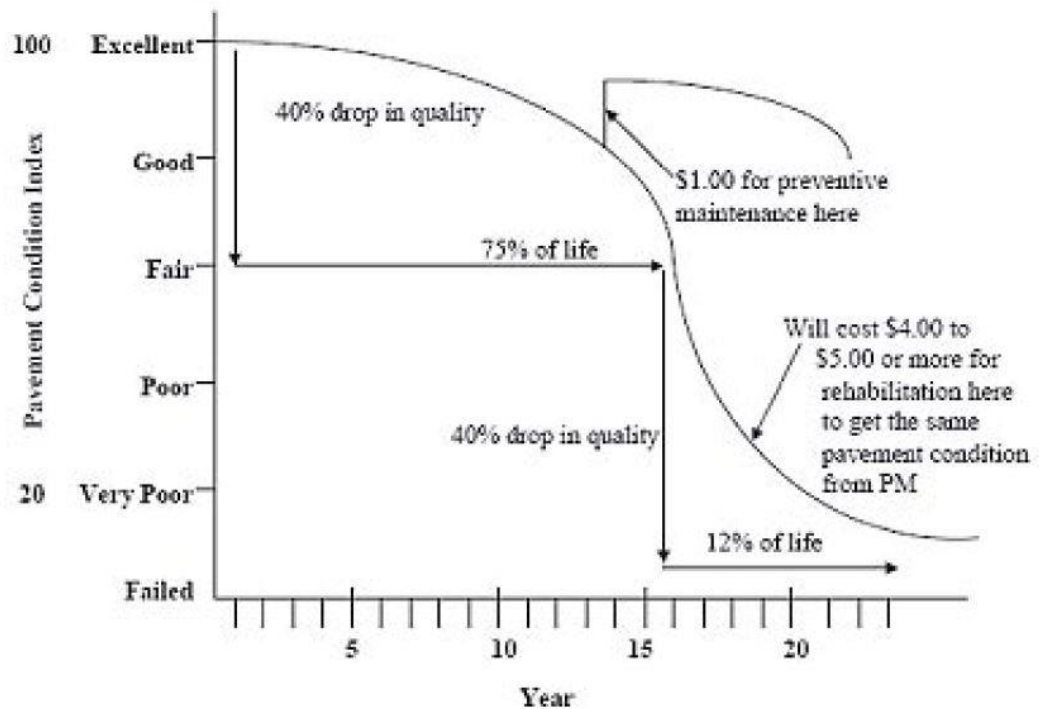
***Kuva 14.** Myöhemmin asennettu kaapeli. Tilanne on väliaikainen ja kaapelin ura tullaan asfaltoimaan.*





**Kuva 15.** Kahden kaivon välille asennettu vesihuoltoputki

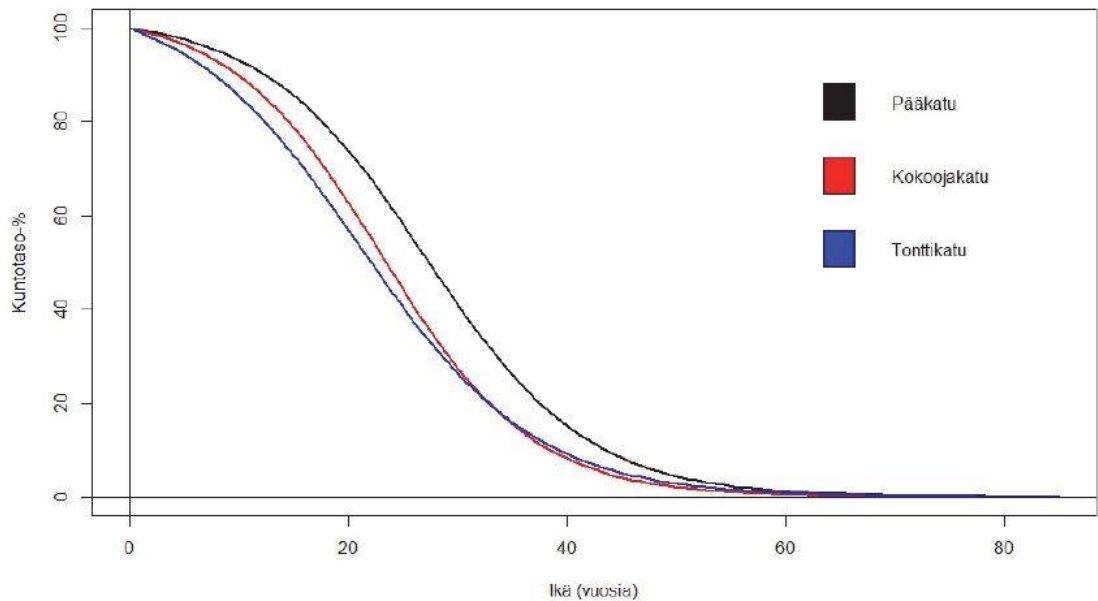
Katujen vaurioitumisen varhaisella havaitsemisella olisi mahdollista suunnitella katuverkon ennakoivaa kunnossapitoa. Ennakoivassa kunnossapidossa esimerkiksi korjattaisiin kohteita, joissa päällysteen vaurioituminen on alkanut tai on alkamassa, mutta rakenne ei ole muuten vaurioitunut. Blackmerin mukaan [2] kuvassa 16 on tyypillinen päällysteen elinkaari sekä suositellut toimenpiteet eri ajankohtina. Kuvassa on myös havainnollistettu suhteellisen hyväkuntoisen rakenteen sekä huonokuntoisen rakenteen korjauskustannusten eroja. Kuvasta käy ilmi, että ennakoivalla kunnossapidolla on mahdollista saavuttaa säästöjä rakenteen elinkaaren aikaisissa kokonaistaloudellisissa kustannuksissa. [2, s. 4].



**Kuva 16.** Kunnossapidon kustannuksia kadun elinkaaren eri vaiheissa [2, s. 4]

Katujen vaurioitumisnopeus on aina yksilöllistä ja vaihtelee katutyypeittäin. Kuva 16 esitetty kadun kuntotason kuvaaja ei välttämättä päde kaikkiin katuihin, mutta on kuitenkin suuntaa antava. Luvussa 4 esiteltävää korjausvelkalaskinta tehtäessä katujen vaurioitumista tutkittiin ja tutkimusten perusteella vaurioitumisesta tehtiin kuntotasomallit eri katutyypeille [46, s. 14]. Katutyypien päivitetty laskentamallit on esitetty kuvassa 17. Korjausvelkalaskimen kuntotasomalleissa (kuva 17) on havaittavissa Blackmerin [2] mukainen kuntotason nopeampi heikkeneminen jonkin ajankohdan jälkeen (kuva 16). Ennakoivalla kunnossapidolla ja vaurioiden varhaisella havaitsemisella olisi mahdollista tehdä kaduille tarvittavia toimenpiteitä ennen kuin katujen kuntotaso lähtee nopeampaan laskuun.





*Kuva 17. Päivitetyt kuntotasomallit korjausvelkalaskimessa [18, s. 16]*

## 2.5 Katurakenteiden tutkimusmenetelmiä

Kadun rakenteita tutkitaan uudisrakentamisen sekä saneeraamisen aikana. Myös käytössä oleville kaduille tehdään tutkimuksia. Osa tutkittavista asioista, kuten rakennekerrospaksuudet, ovat samoja uusilla ja nykyisillä kaduilla. Tutkimusmenetelmät kuitenkin vaihtelevat, koska uutta rakennettaessa rakennekerrospaksuus voidaan mitata, kun nykyisestä rakenteesta mittausta pyritään ensisijaisesti tekemään ainetta rikkomattomalla menetelmällä. Osa käytössä olevista tutkimusmenetelmistä soveltuukin paremmin uudelle, osa olemassa olevalle katurakenteelle. Uusille katurakenteille ja rakennusmateriaaleille tehdään tutkimuksia ja laadun toteamisia kadun rakentamisen aikana ja kadusta mitataan esimerkiksi rakennepaksuuksia ja muita rakenteen mittoja. Tutkimuksilla ja laadun toteamisella varmistetaan rakenteiden täyttävän katurakenteelle asetetut tekniset vaatimukset. Olemassa olevasta kadusta, jolla ei ole saneerauspäätöstä, tutkitaan toimivuusvaatimusten mukaisesti esimerkiksi tasaisuuksia, kaltevuuksia ja pinnan vaurioiden määrää sekä arvioidaan kunnostustarvetta. Saneerattavia katuja koskevat tutkimukset ovat tärkeitä, jotta osattaisiin korjata katurakenteissa näkyvien vaurioiden lisäksi syyt vaurioiden aiheutumiselle. Seuraavissa luvuissa on esitetty tutkimustapoja. Esitysjärjestys on määritetty tutkimusten tekonopeuden mukaisesti.

### 2.5.1 Visuaalinen tarkastelu ja vauriomittaus

Katujen ja teiden pintapuolista kunnan tarkastelua on tehty visuaaliseen inventointiin perustuen vuoteen 2005 saakka [43, s. 16]. Vuodesta 2006 eteenpäin visuaalinen tarkastelu on korvattu päällystevaurioiden automaattisilla mittauksilla (APVM), jotka soveltuvat vauriomittaukseen sekä tutkimustyöhön [41, s. 21][60, s. 15]. Vaurioinventointia

voidaan tehdä verkko- tai hanketasolla, jolloin inventoinnin tarkkuusvaatimukset voivat vaihdella [35, s. 3].

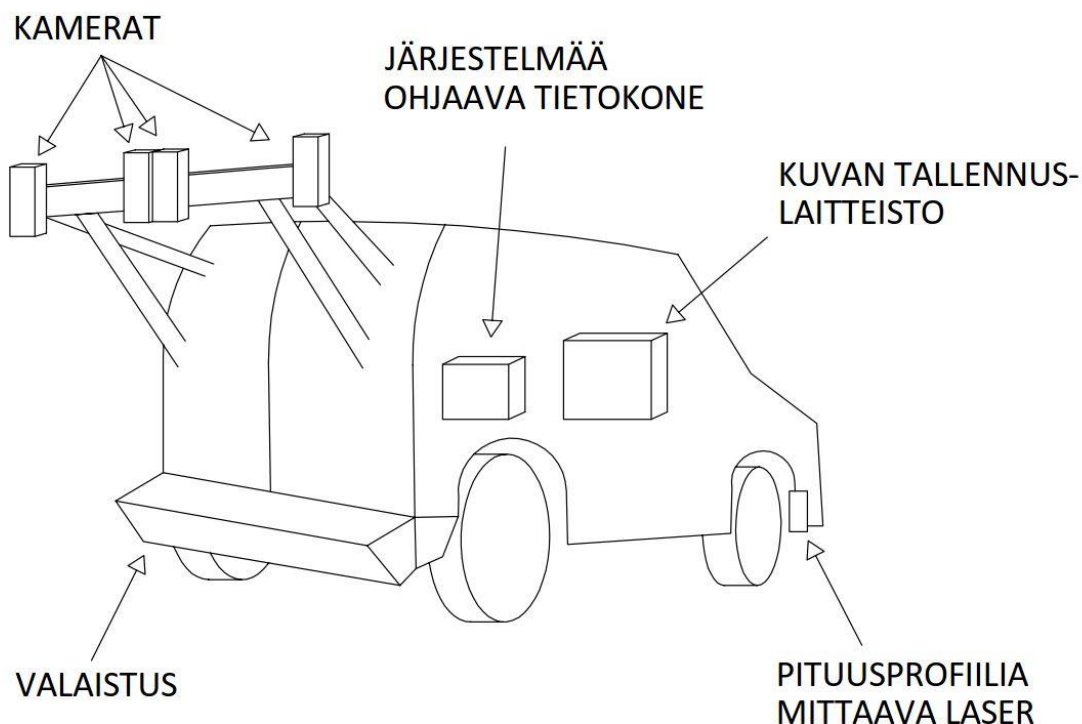
Verkkotason vaurioinventoinnissa saadaan yleiskäsitys vaurioiden määrästä ja väylän yleiskunnosta. Useampia mittauksia vertailemalla voidaan tarkastella myös vaurioitumisnopeutta. Hanketason vaurioinventoinneissa tarkastellaan jo parannuskohteeksi valitun väylän vaurioiden inventointia. Hanketason vauriokartoitus voidaan tehdä yleispiirteisemmin tai yksityiskohtaisemmin. Yleispiirteisellä vauriokartoituksella kartoitetaan väylästä ne vauriot, jotka vaikuttavat korjaustoimenpiteisiin ja rajauksiin. Yksityiskohtaisemmassa vauriokartoituksessa kartoitetaan myös tierakenteen tilaa kuvaavat vauriot, joita voidaan hyödyntää väylän jäljellä olevan käyttöiän arvioinnissa. Vaurioinventoinnissa väylästä kartoitetaan halkeamat, verkkohalkeamat, laajat vaurioalueet, paikalliset kohoumat ja painaumat, reiät, purkaumat, paikkaukset sekä pyöräurien sijainti. [35, s. 3, 6 - 11].

Vuoteen 2005 saakka visuaalisen inventoinnin tuloksista on laskettu vauriosummaa (VS) tieverkolla. Vauriosumman laskennassa vaurioille on annettu painokertoimet, joiden suuruuteen vaikuttavat vaurioiden laatu ja leveys. Vaurioiden määrän ja painokerroimien avulla saadaan laskettua lopullinen vauriosumma. Vauriosumman laskennan kaava on esitetty kuvassa 18. Kaavasta ilmenee myös vauriotyyppien painotuskertoimet. Vauriosumman laskentatapa ja painotukset ovat vaihdelleet, joten eri aikoina tehdyt vauriosummalaskelmat eivät välttämättä ole keskenään vertailukelpoisia. [35, s. 3][41, s. 21][43, s.16].

$$\text{VS} = 0,3 \cdot \text{kapeat pituushalkeamat} + 1,0 \cdot \text{leveät pituushalkeamat} + 0,1 \cdot \text{kapeat saumahalkeamat} + 0,5 \cdot \text{leveät saumahalkeamat} + 2,5 \cdot \text{kapeat poikkihalkeamat} + 5,0 \cdot \text{leveät poikkihalkeamat} + \text{verkkohalkeamat} + \text{reiät} + \text{purkaumat} + \text{reunapainuma}$$

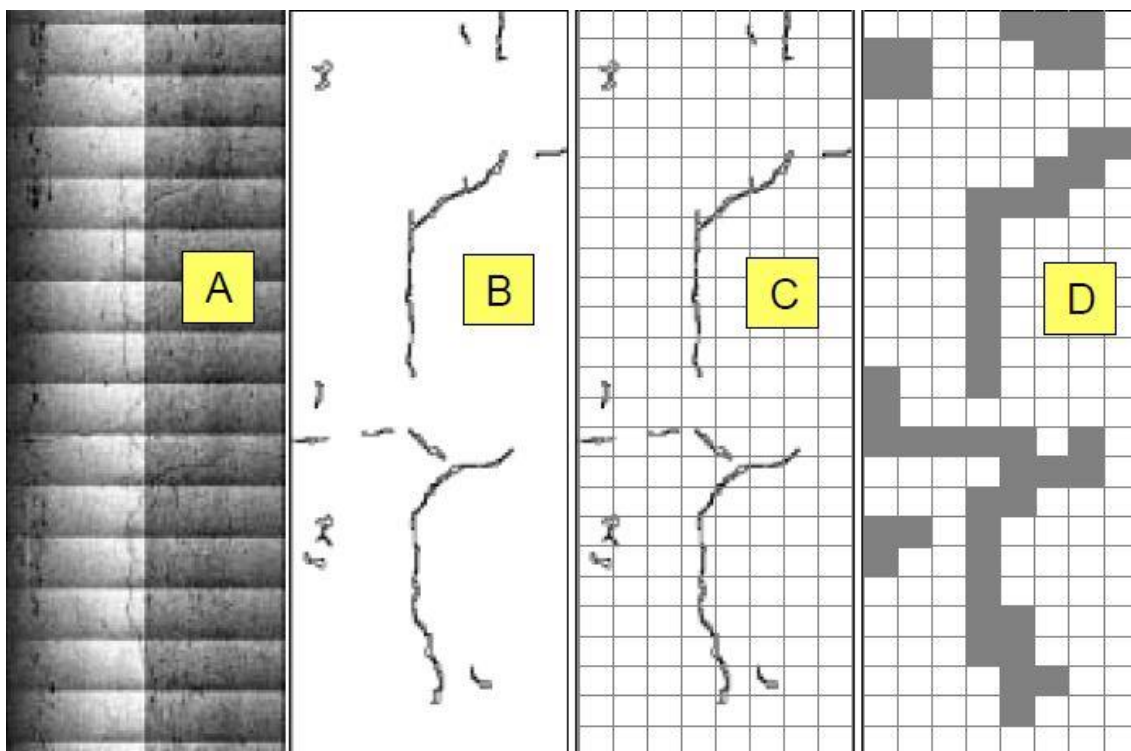
**Kuva 18.** Vauriosumman laskenta [43, s. 16]

Vuodesta 2006 eteenpäin teillä ja myös kaduilla on käytetty APVM:ta, jossa autoon sijoitettu mittalaite kerää tietoa neljän tienpintaa jatkuvasti ja samanaikaisesti kuvaavan videokameran avulla. Mittausleveys on 3,5 metriä ja mittaus suoritetaan liikenteen mukaisella ajonopeudella nopeuden ollessa 5-90 km/h välillä. Mittausajoneuvolla ajetaan keskellä ajokaistaa siten, että vasemmanpuoleiset kamerat kuvaavat ajoradan keskilinjaa. Poikkeuksena ovat kapeat tiet ja kadut, jolloin oikean puolen kamerat kuvaavat päällystettä. Mittauslaitteistossa on myös erillinen valaistusjärjestelmä, jolla valaistaan päällysteen pinta kuvattavasta kohdasta ja näin varmistetaan tasalaatuiset valaistusolosuhteet. Lisäksi mittausajoneuvossa on päällysteen pinnan karkeutta mittaavat laseranturit, joita hyödynnetään videokameroista saatavan videon tulkinnassa. Kuvassa 19 on esitetty APVM-laitteiston sijoittelu mittausajoneuvossa. Mittauksen pituuden määrittämisessä käytetään pulssianturia sekä GPS-paikannusta. [60, s. 15 - 16].



**Kuva 19.** Periaatekuva APVM-ajoneuvon laitteistosta. Kuva lähteen [60, s. 15] pohjalta.

Mittauksesta saatavat neljä rinnakkaista videota yhdistetään yhdeksi pituussuunnassa jatkuvaksi kuvaksi. Tästä jatkuvasta kuvasta tehdään useasta vaiheesta koostuva kuvatulkinta eli vaurioanalyysi. Vaurioanalyysin vaiheet on esitetty kuvassa 20. Ensimmäisessä vaiheessa (A) neljän videokameran kuvat on yhdistetty yhdeksi jatkuvaksi kuvaksi. Vaiheessa B kuvasta on olemassa olevien mittaustietojen avulla poimittu päällysteessä olevat vauriot. Vaiheessa C vauriot on asetettu ruudukkoon ja vaiheessa D ruudukosta on määritetty ruudut, joiden kohdalla on vaurioita. Näiden ruutujen avulla mitatusta väylästä voidaan määrittää vaurioituneen väyläpinta-alan osuus eli vaurio-osuus (VO) prosenttilukuna. Ennen vuotta 2008 ruutukokona käytettiin 20 cm x 20 cm ruutuja, mutta sen jälkeen ruutukoko on ollut 10 cm x 10 cm [43, s. 16 - 17]. Erikokoisilla ruuduilla lasketut VO-lukemat eivät ole keskenään vertailukelpoisia. [60, s. 16 - 17].



**Kuva 20.** APVM-aineistosta tehtävän kuvatulkinnan vaiheet [60, s. 16]

Vauriosumman ja -osuuksien avulla väylät voidaan jaksotella vaurioituneisuuden mukaan erilaisiin osuuksiin tarkempia kuntotutkimuksia ja korjaustarpeita ajatellen. Vauriosummasta ja -osuuksista ei voida päätellä väylän kestävyyttä vaan sitä kuvaa paremmin vaurioitumiskehitys, joka lasketaan kaavalla  $VAURIOKEHITYS = VS/(PÄÄLLYSTEEN IKÄ)^{1,4}$ . Nopealle vauriokehitykselle on asetettu raja-arvot, jotka riippuvat päällystetyypistä. Vauriosummalla ja -osuudella saadaan tieto päällysteessä olevista vaurioista ja niiden määrästä. Rakenteiden väsymisestä ja rakennekerrosten kunnosta ei saada tietoa ennen kuin vauriot ovat jo syntyneet ja näkyvät päällysteessä ja päällysrakenteessa. [41, s. 21][43, s. 16 - 17].

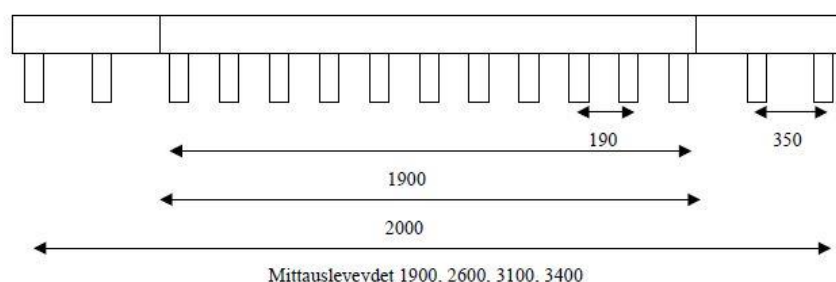
## 2.5.2 Palvelutasomittaus (PTM)

Tien tai kadun päällysteen pituus- ja poikkiprofiilia voidaan tutkia palvelutasomittauksella (PTM), joita on tehty Suomessa vuodesta 1991 lähtien. Mittauksia varten on kehitetty PTM-auto, jolla mitataan päällysteestä pituus- ja poikkisuuntaista tasaisuutta pystykiihtyvyyden, laser- ja ultraääniantureiden avulla. Mittauksista saadaan useita käyttökelpoisia tunnuslukuja ja parametreja, mutta niistä hyödynnetään pääasiassa pituussuuntaista tasaisuutta, urasyvyyttä, harjanteen korkeutta sekä sivukaltevuutta. [34, s. 3][59, s. 6][60, s. 12].

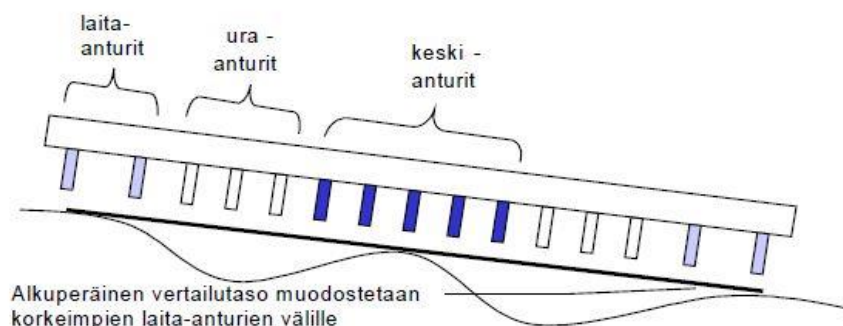
Pituussuuntainen tasaisuus tuotetaan PTM:ssa yhdeltä pituussuuntaiselta linjalta, joka on yleensä uloimman pyöräuran kohdalla. Tasaisuustiedot kerätään oikean etupyörän edessä olevalla lasermittarilla sekä pystykiihtyvyyssanturilla. Mittauksen tietoja saadaan

neljän cm:n välein ja nämä mittaustiedot suodatetaan siten, että väylän tasaisuusprofiili saadaan aallonpituusalueelle 0,5 - 30 metriä. Mittauksista saatu tasaisuusprofiili ei siis ole väylän tasausta vastaava profiili, vaan se kuvastaa väylän pinnan epätasaisuuksia. Pituussuuntaisesta tasaisuudesta käytetään International Roughness Index (IRI) -tunnuslukua, joka kuvaa aallonpituudeltaan sellaista epätasaisuutta, jonka autoilija kokee epämukavana. Muita tasaisuustiedoista saatavia tunnuslukuja ovat 5mIRI, IRI4, mega- ja makrokarkeus, dynaaminen rasisusindeksi (DRI) sekä pituusprofiilin poikkeamaindeksi (PI). [34, s. 3 - 6].

Väylien pinnan poikkisuuntaista muotoa, kuten uraisuutta, mitataan PTM-auton edessä olevaan uramittauspalkkiin sijoitetuilla ultraääniantureilla. Palkissa olevia antureita kutsutaan laita-, ura- ja keskiantureiksi. Laita-anturit sijaitsevat kadun keskilinjan ja pientareen tuntumassa alueilla, joissa päällyste ei ole päässyt kulumaan. Ura-anturit sijaitsevat oletettujen ajourien kohdalla ja keskianturit urien väliin jäävän harjanteen kohdalla. Yhteensä antureita on 15 kappaletta ja mittausleveys on säädeltävissä 1,9 ja 3,4 metrin välillä. Kuvassa 21 on esitetty uramittauspalkin mittausleveydet ja antureiden väliset etäisyydet eri mittausleveyksillä. Kuvassa 22 on esitetty antureiden nimeämiskäytäntö sekä urasyvyyksien ja harjanteen korkeuden laskentaperiaatteet. PTM-autolla on mahdollista mitata myös väylän sivu- ja pituuskaltevuuksia sekä kaarresäteitä autossa olevien gyrokooppien ja kaltevuusanturien avulla. [34, s. 4, 6].



**Kuva 21.** Uramittauspalkin mitat [34, s. 4]



**Kuva 22.** Uramittauspalkin urien mittauksen periaate [34, s. 4]

Mittaukset aloitetaan tunnetulta pisteeltä ja lopetetaan tunnettuun pisteeseen ja mittauksessa käytetään niin sanottuja 100 metrin pituisia kiihdytys- ja hidastusosuuksia [34, s. 14 - 15]. Auto seisautetaan kiihdytysosuuden alkupisteessä, jossa matkamittari nollataan, ja hidastusosuuden loppupisteessä, jossa matkan pituus kirjataan ylös [34, s. 15]. Mittauksia tehtäessä PTM-auto liikkuu 30 - 90 km/h nopeudella riippuen nopeusrajoituksista, muusta liikenteestä sekä mittausolosuhteista [60, s. 14]. Tieosuuksilla PTM:lla saadaan mittaustuloksia hyvinkin pitkältä matkalta yhdessä vuorokaudessa. Kaupunkiympäristössä nopeudet ovat alhaisempia kuin teillä ja matkanteko saattaa olla katkonaisempaa sekä sisältää pysähdyksiä esimerkiksi muun liikenteen ja liikennevalojen vaikutuksesta. Tämä saattaa vaikeuttaa mittausten toistettavuutta ja vertailtavuutta kaupunkialueilla. Palvelutasomittauksia on tehty jo pitkän aikaa ja Onninen [34] on kirjoittanut aiheesta menetelmäkuvauksen. Mittaukset ovatkin hyvin toistettavissa olemassa olevan ohjeistuksen ja mittaustavan pitkäaikaisen käytön ansiosta.

### 2.5.3 Laserkeilaus

Laserkeilaus on mittaustekniikka, joka perustuu mittalaitteen lähettämän lasersäteen paluuheijastuksen analysointiin [25, s. 8]. Laserkeilauksessa saadaan mittauspisteille x-, y- ja z-koordinaatit, eli pisteille saadaan kolmiulotteinen sijaintitieto [25, s. 8]. Yksittäiset pisteet antavat samanlaisen tiedon kuin takymetri- tai GPS-mittauksella mitatut pisteet, mutta laserkeilauksen etuna on yhdessä mittauksessa saatava pisteiden ja täten datan määrä. Takymetri- ja GPS-mittauksessa mittausnopeus on piste muutamassa sekunnissa, kun laserkeilaimella mittausnopeus voi olla jopa 1 000 000 pistettä sekunnissa [11][24]. Laserkeilausmittauksesta saatu mittaustiedon muodostaa kohteesta kolmiulotteisen näkemyksen, jota usein kutsutaan pistepilveksi [3, s. 10][58, s. 45]. Koordinaattien lisäksi laserkeilaimilla saadaan tallennettua paluuheijastuksessa tulevan säteen intensiteetti, minkä perusteella pisteille saadaan määritettyä sävyarvot, mikä helpottaa keilaustulosten tulkintaa [3, s. 11][58, s. 45].

Laserkeilaimet luokitellaan kaukokartoitus-, mobiili-, maa- ja teollisuuslaserkeilaimiin. Kaukokartoituskeilaus tehdään lennokeista, jolloin pisteiden tarkkuus tällä keilaustyyppillä on noin kymmenen senttimetrin tasoa. Mobiilikeilaus tehdään ajoneuvosta, esimerkiksi autosta tai veturista ja laitteistolla saavutettava tarkkuus on noin 1 - 3 senttimetriä. Mobiililaserkeilaukseen sisältyy usein myös kohteen valokuvaus. Maa- ja teollisuuslaserkeilaimilla keilaus tehdään usein jalustalta, ja näiden keilausten tarkkuus on alle kahdesta senttimetristä millimetrin tarkkuuteen. Kuvassa 23 on jalustalle asennettava laserkeilain, jolla on mahdollista tehdä muun muassa maarakennus- tai teollisuuskohteiden laserkeilauksia. [3, s. 12][25, s. 8]. Tekniikan kehittyessä myös laserkeilaimet kehittyvät ja laitteistoilla saavutettavat tarkkuudet voivat olla parempia kuin edellä esitetyt. Mittaustapaa ja aineistoa valitessa on oleellista miettiä, millaista mittaustiedon tulee olla, eli käytännössä tarvitaanko absoluuttista sijaintidataa vai riittääkö suhteelliset sijain-

nit. Suhteellista sijaintia on mahdollista käyttää esimerkiksi uramittauksessa tai pinta-alojen määrittämisessä.



**Kuva 23.** Laserkeilain maarakennus ja teollisuusmittauksiin [11].

Laserkeilausta käytetään muun muassa rakennusten ja maaston muotojen mittaamiseen ja hahmottamiseen sekä metsävarojen inventointiin [58, s. 44]. Maanmittauslaitoksen avoimesta datasta on saatavissa maanpinnasta mitattua laserkeilausaineistoa, jota voidaan hyödyntää muun muassa infrahankkeiden suunnittelutehtävissä. Kyseinen mittausaineisto on ilmasta kartoitettua mittaustietoa, joten hyvin tarkkaan rakennesuunnitteluun aineisto ei sovellu. Laserkeilausta voidaan hyödyntää suurilla alueilla, missä maastomittausten tekeminen GPS-laitteistolla tai takymetrillä olisi hidasta. Suurilla alueilla laserkeilausta voidaan hyödyntää esimerkiksi massalaskennoissa, kuten murskekasojen tai leikkausmassojen tilavuuksien ja tilavuudenmuutosten laskennassa. Laserkeilausta voidaan hyödyntää myös muun muassa kalliorakentamisessa, kun tarkastellaan louhintojen toteutumista kalliotiloissa.

Mobiililaserkeilaus on yleistynyt mittaustekniikka, jota voidaan hyödyntää monipuolisesti infrarakentamisessa [3, s. 14][25, s. 8]. Mobiililaserkeilauksella voidaan hankkia lähtötietoja katu- ja tiehankkeiden suunnitteluun ja sitä voidaan hyödyntää myös ylläpidon aikaisessa väylän inventoinnissa [3, s. 14][25, s. 8]. Ajoneuvoon kiinnitettävillä mobiililaserkeilaimilla mittausnopeus on kymmenistä tuhansista pisteistä satoihin tuhansiin pisteisiin sekunnissa [11]. Kuvassa 24 on esitetty yhdenlainen malli mobiililaserkeilaimesta. Mobiililaserkeilauksissa mitataan ajoratojen lisäksi myös väylän luiskat, jolloin saadaan tietoa ojien syvyyksistä ja kunnosta ja voidaan seurata myös kuivatuksen toimivuutta. Mobiililaserkeilaimissa on Inertia-laitteisto, jonka vaikutuksesta ajoneuvon kallistuminen väylän sivukaltevuuden mukaan ei vaikuta yksittäisten pisteiden koordinaattien tarkkuuteen. [3, s. 14][25, s. 8].





**Kuva 24.** Mobiililaserkeilain [11]

Mobiililaserkeilauksella voidaan tutkia väyliä vaurioita sekä seurata väylillä tapahtuvaa routanousua, routanousun aiheuttamaa vaurioitumista sekä väylän kokonaispainumaa. Suuren pistetiheyden ja videokuvauksen ansiosta väylän pinnasta on mahdollista tunnistaa erilaisia halkeamia ja muita päällysteessä esiintyviä vaurioita. Routanousumittaukset edellyttävät toistomittauksia routanousun aikaisesta tilanteesta sekä roudattomasta tilanteesta. Toistomittausten tuloksista voidaan myös tutkia routanousun aiheuttamia halkeamien levenemisiä. Painumamittauksissa tarvitaan tieto väylän alkuperäisestä korkeudesta sekä nykytilanteen korkeudesta. Mittaustiheys on harvempi kuin routanousumittauksissa, koska painumat tapahtuvat hitaammin, ja mittaukset suoritetaan usein rakentamisen jälkeen ja takuuajan lopussa [25, s. 7]. Laserkeilauksen kattavuuden ja tarkkuuden vuoksi väylistä on mahdollista tutkia epätasaista painumaa sekä sivukaltevuuksien muutoksia myös yksittäisillä kaistoilla [25, s. 7].

Mobiililaserkeilauksen tarkkuuden ja mittaustulosten vertailtavuuden varmistamiseksi mittaukset pitää saada kohdistettua samoihin kohtiin tunnettujen pisteiden avulla. Tällaisia voivat olla esimerkiksi rakennukset, sillat tai muut tunnistettavat ja kiinteät, liikumattomat rakenteet. Eri suunnista tehtyjen kaistakohtaisen mittausten tulokset tulee kalibroida yhtenäiseksi mittausaineistoksi. Mobiililaserkeilauksille tulee tehdä myös referenssimittauksia takymetrillä, jotta aineiston tarkkuudesta taso- ja korkeuskoordinaattijärjestelmissä voidaan varmistua. Tarvittaessa mitattua aineistoa voidaan muokata ja mittaukset voidaan kääntää oikeaan koordinaatistoon referenssimittausten tulosten avulla. [25, s. 8, 12, 17].

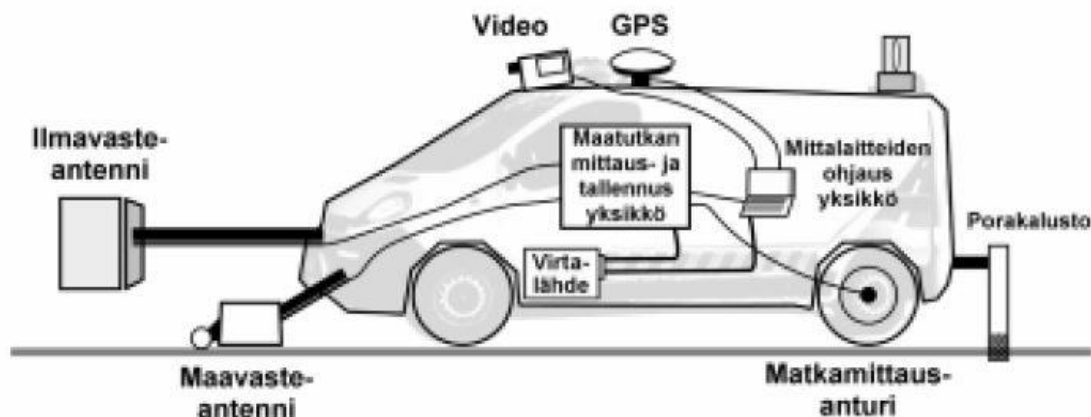


## 2.5.4 Maatutka

Maatutkaluotaus perustuu radiotaajuisten sähkömagneettisten aaltojen käyttöön. Sitä on hyödynnetty Suomen tietutkimuksissa jo 1980-luvun puolivälistä lähtien. Maatutkausta käytetään pohjamaatutkimuksissa, rakennekerrosten ja päällysteen paksuuden mittaamisessa sekä materiaalien lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien määrittämisessä. Maatutkaa sovelletaan myös päällysteiden ja rakennekerrosten laadunvalvontamittauksissa, siltojen kansien mittauksissa sekä ratarakenteiden tutkimisessa. Maatutkauksen tuloksia analysoidaan yhdessä muista tutkimusmenetelmistä saatujen tutkimustulosten kanssa. Maatutkaluotauksen etuja ovat mittauksesta saatava kohteen jatkuva profiili sekä mahdollisuus suorittaa mittaukset liikennevirran seassa aiheuttamatta häiriötä muulle liikenteelle. Maatutkaluotauksen yhteydessä tehdään yleensä referenssikairauksia, joita käytetään mittauksen tulokinnan tukena. [42, s. 10, 12, 23].

Yleisimmin käytetty maatutkatyyppi on niin sanottu impulssitutka, jolla väliaineeseen lähetetään pulssi. Pulssin energia heijastuu takaisin eri aikoihin sähköisiltä ominaisuuksiltaan poikkeavilta rajapinnoilta. Heijastusten kulkuaikaa ja amplitudia mitataan ja näiden perusteella saadaan laskettua väliaineessa, eli rakennekerroksissa ja pohjamaassa, olevia materiaalien rajapintoja. Mittauksia tehdään nopeasti peräkkäisissä pisteissä mittausajoneuvon liikkuessa, minkä seurauksena tutkittavasta kohteesta saadaan jatkuva tutkakuva. [42, s. 10].

Pulssitutkaperiaatteella toimiva maatutkauskalusto koostuu antenneista, tallennusyksiköstä, ohjausyksiköstä sekä virtalähteestä. Tutkauksen paikannuksessa hyödynnetään useimmiten GPS-laitteita, matkamittausta sekä videokuvausta. Mittausajoneuvo saattaa sisältää myös porakaluston. Mittausajoneuvon tyypilliset mittalaitteet ja niiden sijainti ajoneuvossa on esitetty kuvassa 25. Maatutkalla saavutettava tutkaussyvyys riippuu väliaineesta sekä antennitaajuudesta. Taajuuden kasvaessa rajapintojen erotuskyky paranee, mutta samalla tunkeutumissyvyys pienenee, joten yhdellä antennilla ei voida mitata väylän rakennetta riittävällä tarkkuudella. Maatutkauksessa mittauksia tehdäänkin yleensä kahdella eri antennilla, joissa mittaukset tehdään eri taajuuksilla. Mittaukset voidaan tehdä samalla mittauskerralla [43, s. 31]. [42, s. 12 - 13][61, s. 21 - 22].



*Kuva 25. Tyypillisen maatutka-auton mittalaitteet [42, s. 13]*

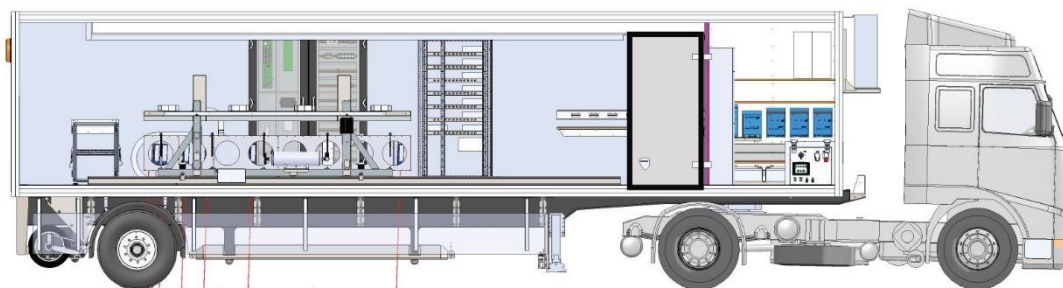
Käytettyjä antennityyppejä kutsutaan maavasteantenniksi ja ilmastevasteantenniksi. Maavasteantenneissa taajuus vaihtelee 80 - 1500 MHz välillä, mutta mittauksissa käytetään pääasiassa 400 - 600 MHz välillä vaihtelevaa taajuutta. Ilmastevasteantenneissa taajuudet vaihtelevat 500 MHz:n - 2,5 GHz:n välillä, mutta yleisimmin käytetty taajuus on 1 GHz. Maavasteantenneilla on parempi syvyysulottuvuus kuin ilmastevasteantenneilla ja niillä voidaan päästä noin 3,5 metrin syvyyteen. Ilmastevasteantenneilla syvyysulottuvuus on noin 0,5 - 0,9 metriä, ja niitä käytetäänkin lähinnä teiden, katujen sekä siltojen tutkimuksissa. Maavasteantenneissa on parempi yksittäisten kohteiden erottelukyky, mutta mittausnopeus on ilmastevasteantenneja hitaampi. [42, s. 13 - 14][43, s. 31][61, s. 21 - 22].

Maatutkamittauksilla voidaan arvioida rakenteessa olevaa kosteutta dielektrisyiden avulla [64]. Dielektrisyysarvolla kuvataan aineen kykyä varautua eli polarisoitua ulkoisen sähkökentän, kuten maatutkauksen, vaikutuksesta. Dielektrisyysarvo riippuu pääasiassa materiaalissa olevan vapaan veden määrästä ja vesipitoisuuden kasvu nostaa suhteellista dielektrisyttä. Kantavassa kerroksessa dielektrisyysarvon ollessa alle yhdeksän kerros on materiaaliltaan hyvää ja se ei ole vettä sitovaa. Kerroksen laatua ei voida varmuudella todeta hyväksi tai huonoksi dielektrisyiden ollessa 9 - 12. Kantavan kerroksen materiaali on vettä sitovaa dielektrisyysarvon ollessa yli 12. [42, s. 10][43, s. 32].

### 2.5.5 Traffic speed deflectometer

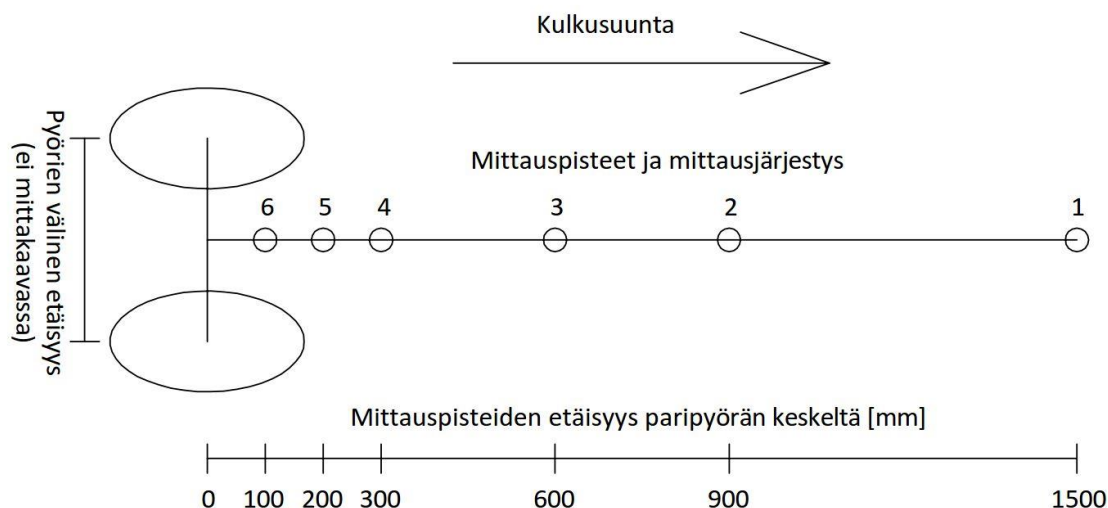
Tie- ja katurakenteen kantavuutta sekä päällysteessä ja rakenteissa tapahtuvia taipumia on mahdollista tutkia Traffic speed deflectometer (TSD) -mittauksella. Kantavuutta ja taipumia on mahdollista tutkia myös myöhemmin esitettävillä ja TSD-menetelmää tunnetummilla pudotuspainolaite- ja levykuormituskokeella. TSD-menetelmässä mittaus on ennemminkin taipuman nopeuden mittausta kuin siirtymän mittausta [12]. Taipuman nopeus on matemaattisesti mahdollista muuttaa siirtymäksi, joten TSD-mittauksesta saadut tulokset ovat vertailtavissa pudotuspainolaitteella tehtyjen mittausten tuloksiin.

[12][28, s. 152 - 153]. TSD-menetelmää testattaessa mittaustulosten on havaittu olevan toistettavissa [29, s. 11]. TSD-mittausyksikkö on yksiakselisen kuorma-auton perävaunun kaltainen vaunu, joka sisältää mittauslaitteiston. Kuvassa 26 on havainnollistettu mittalaite sivusuunnasta. Mittausyksikön massa toimii mittauksen kuormittavana voimana, joka siirtyy väylään renkaista. Ajoneuvojen aiheuttamaa kuormitusta ei tarvitse erikseen simuloida TSD-mittauksessa, koska väylää kuormittava voima tulee renkaista. Kuormittava voima on 50 kN:n pyöräkuorma ja mittaukset voidaan suorittaa liikennevirran mukana. [31, s. 12 - 13, 15].



**Kuva 26.** TSD-mittalaitteen malli sivustapäin katsottuna [13, s. 1]

TSD-mittauksessa väylän päällysteen taipumaa mitataan perävaunun oikeanpuoleisten paripyörien keskilinjalta optisella mittalaitteella, Doppler-laserilla [13, s. 1][31, s. 14][32, s. 1]. Lähin mittausetäisyys on 100 millimetriä paripyörän etupuolella. Muut mittapisteet ovat usein pudotuspainolaitteella käytettävissä mittausetäisyyksissä, kuten esimerkiksi 200, 300, 600, 900 ja 1500 millimetrin etäisyydellä. [31, s. 14][32, s. 1]. Mittausetäisyyksien sijoittuminen on havainnollistettu kuvassa 27. Mittauksessa ensimmäinen laser mittaa päällysteen korkeusaseman eli käytännössä kuormituksen aiheuttaman painuman, 1500 millimetriä ennen kuormittavaa rengasta [29, s. 3]. Toinen, 900 millimetriä kuormituksen etupuolella oleva laser, mittaa päällysteen taipuman samasta kohdasta kuin ensimmäinen laser. Näin tapahtuu jokaisen mittauspisteen kohdalla [29, s. 3]. Täten taipuma saadaan mitattua yhdestä pisteestä jokaisella mittausetäisyydellä.



**Kuva 27.** Mittausetäisyydet TSD-mittauksessa

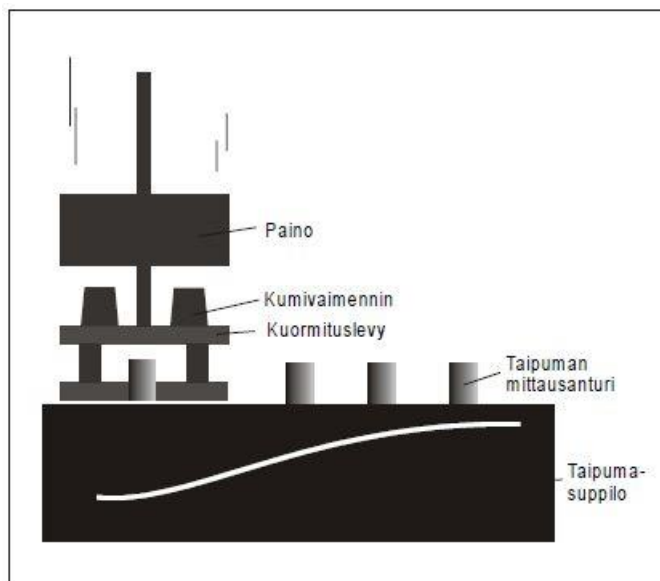
Suomessa tehtyjen TSD-mittausten tuloksista lasketut kuntoparametrit ovat vastanneet hyvin tierakenteen vaurioita ja mittausten tuloksista on voitu tehdä Odemark-mitoitus pudotuspainolaitteen taipumien tapaan [31, s. 115 - 116]. Myös muualla tehdyissä tutkimuksissa TSD-menetelmän tuloksien on havaittu korreloivan perinteisemmällä tavoil-la tehtyjen tutkimusten kanssa [29, s. 11][32, s. 10]. Surface Curvature Indexin (SCI), eli pintakantavuusindeksin arvioinnissa on kuitenkin havaittu pieniä epävarmuuksia, koska TSD-menetelmällä mittaus ei tapahdu suoraa kuormituksen alta, vaan 100 millimetriä kuormituksen etupuolelta [32, s. 10].

### 2.5.6 Pudotuspainolaite

Pudotuspainolaite (PPL) on dynaaminen kantavuuden mittauslaite, jolla voidaan mitata rakenteen kantavuutta ja taipumaa sekä lisäksi simuloida liikennekuormitusta [37, s. 16][55, s. 4]. Pudotuspainolaitetta voidaan käyttää vanhan rakenteen tilan ja kuormituskestävyyden määrittämisessä ja näitä tietoja voidaan hyödyntää rakenteen kunnon ja rakenteen parantamisen suunnittelussa [55, s. 5]. Vaikka pudotuspainolaite on dynaaminen kantavuuden mittauslaite, mitatusta maksimitaipumasta määritettyä kantavuutta voidaan käyttää samoin kuin staattisista mittalaitteista saatuja kantavuusarvoja [37, s. 19].

Koetilanteessa pudotuspainolaitteella mitataan tiehen kohdistuva voima ja sen aiheut-tama pinnan pystysuora siirtymä eli taipuma. Kuormitusimpulssi saadaan pudottamalla paino vaimentimen välityksellä yleensä 300 millimetrin suuruiselle kuormituslevylle. Pudotuskorkeutta ja painon suuruutta voidaan vaihdella, mutta yleisimmin käytetään 50 kN:n suuruista voimaa. Kuormituksen aiheuttama taipuma mitataan kuormituslevyn kohdalta sekä vähintään viideltä muulta ohjeiden määrittämältä etäisyydeltä kuormitus-

levystä. Kuvassa 28 on esitetty pudotuspainolaitteen toimintaperiaate koetilanteessa. [37, s. 16 - 17][55, s. 4].



**Kuva 28.** Pudotuspainolaitteen toimintaperiaate [55, s. 4]

Useaa taipumanmittauspistettä käyttämällä saadaan mitattua taipumasuppilo, joka kuvaa tierakenteen kykyä kestää toistuvaa liikennekuormitusta. Taipumasuppilon perusteella voidaan arvioida tien rakennekerrosten ominaisuuksia, rakenteessa syntyviä jännityksiä ja muodonmuutoksia sekä rakenteen kestävyyttä. Taipumasuppilosta saatujen arvojen avulla voidaan takaisinlaskentaohjelmilla laskea rakennekerrosten muodonmuutosmoduulit. Takaisinlaskennan periaatteena on saada rakennekerroksille mittaustulosta vastaava taipumasuppilo ja mittauksia vastaavat moduulit laskennallisesti [56, s. 8]. Rakennekerrosten takaisinlaskennasta on kerrottu lisää Spoofin ja Petäjän [56] julkaisussa Rakennekerrosmoduulien takaisinlaskenta sekä jännitysten ja muodonmuutosten laskenta. [37, s. 19 - 20][55, s. 4, 6].

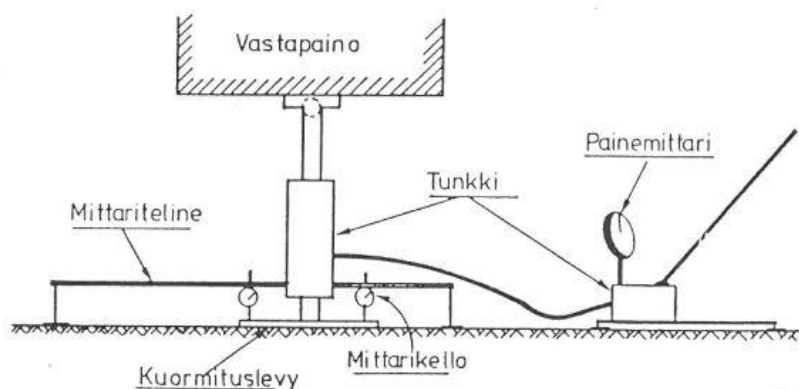
Pudotuspainolaite soveltuu hyvin asfalttipäällysteisten katujen kantavuusmittauksiin ja sitä voidaan käyttää myös öljysora- ja sorapäällysteisillä kaduilla [37, s. 21][51, s. 30]. Pudotuspainolaitteiden kuormitusaika vaihtelee hieman laitteesta riippuen, mutta keskenään samanlaisilla laitteilla kuormitusaika on vakioitu [55, s. 4 - 5]. Vakioitun kuormitusajan ansiosta pudotuspainolaitteella saavutetaan hyvä toistettavuus mittausten välillä [51, s. 30].

### 2.5.7 Levykuormituskoe

Levykuormituslaite on vanhin maarakentamisessa käytettävistä kantavuudenmittauslaitteista ja se otettiin käyttöön Suomessa 1950-luvulla. Levykuormituslaitteella mitataan rakenteen pinnan painumaa kuormituslevyn alla. Kuormituslevy on yleensä halkaisijaltaan 300 millimetriä. Tutkittavan kohteen pinnan tulee olla vaakasuora ja tasainen.

Kuormituslevyä kuormitetaan hydraulisella puristimella, jonka vastapainona käytetään kuorma-autoa, kaivinkonetta tai kauhakuormaajaa, riippuen saatavilla olevasta kalustosta. [37, s. 5 - 6].

Levykuormituskokeessa painumia mitataan joko yhdellä tai kolmella mittakellolla, jotka ilmoittavat kuormituslevyn painuman. Kuormituskokeessa tarvittava laitteisto on esitetty kuvassa 29. Levykuormituskokeen alussa kuormituslevyä kuormitetaan 3,5 kPa:n esikuormalla, jotta levyn alla oleva tasaushiekka tiivistyisi. Kokeessa kuormituslevyä kuormitetaan 10 kN:n porrastuksilla 0:sta 60 kN:iin. Kuormitusta lisätään, kun levyn painumisnopeus on alle 0,01 mm/min [51, s. 31]. Maksimikuormituksen jälkeen paine alennetaan nolnaan. Painumat mitataan jokaisen portaan kohdalla sekä paineen alentamisen jälkeen. Kun paine on tasaantunut, mittaukset toistetaan ja mittaustuloksista saadaan laskettua rakenteelle kantavuusarvot  $E_1$  ja  $E_2$ . [37, s. 6 - 10].



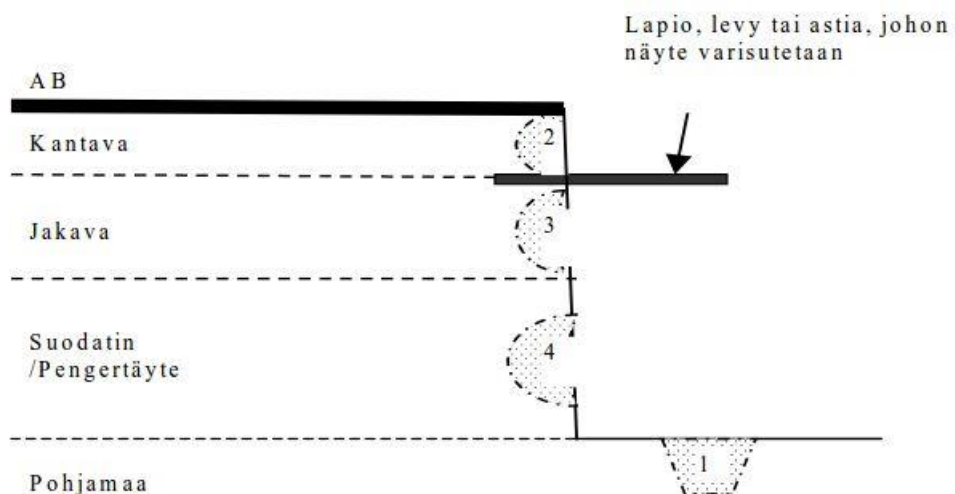
**Kuva 29.** Levykuormituskokeessa tarvittava laitteisto [37, s. 6]

Levykuormituskokeessa kuormitusaika riippuu kadun rakenteesta, koska kuormitusta lisätään painuman ollessa riittävän vähäistä. Tämän seurauksena kuormitusaika vaihtelee levykuormituskokeissa ja kokeiden toistettavuus heikentyy. Levykuormituskoe soveltuu parhaiten sitomattomien kerrosten kantavuuden mittaamiseen sekä uuden rakenteen tiivistämistarkkailuun [37, s. 11]. Asfalttipäällysteisten katujen kantavuusmittauksiin levykuormituskoe soveltuu kohtuullisesti päällystepaksuuden ollessa enintään kymmenen senttimetriä. [51, s. 31].

## 2.5.8 Näytetutkimukset

Uuden rakenteen materiaaleista otetaan näytteitä, jotta voidaan todentaa rakennusmateriaalien täyttävän asetetut laatuvaatimukset ja varmistua rakennekerrosten laadusta [16]. Nykyisestä rakenteesta otetuilla näytteillä voidaan tutkia esimerkiksi päällysteen laatua, rakennekerrosten vesipitoisuutta, tiheyttä, lämpötekniisiä ominaisuuksia ja kuntoa, eli esimerkiksi sitä, onko materiaaleissa tapahtunut jauhautumista tai onko rakennekerros-

ten hienoainespitoisuus lisääntynyt. Nykyisestä rakenteesta voidaan tutkia rakennekerrospaksuuksia ainetta rikkomattomasti maatutkalla tai avaamalla rakenne koekuopalla tai putkinäytteenottimella, jolloin rakennekerroksista saadaan otettua myös näytteet. Kuvassa 30 on esitetty koekuopasta otettavien näytteiden ottojärjestys. [22, s. 4, 13, 16, 20].



**Kuva 30.** Näytteenottojärjestys koekuopasta. Pohjamaan näyte voidaan ottaa myös putkeen. [22, s. 15].

Koekuopassa rakenne- ja maakerrokset ovat usein selvästi havaittavissa koekuopan seinämistä ja näkyvistä kerroksista on mahdollista saada käsitys tyypillisestä kerrospaksuusvaihtelusta. Rakennekerroksista otettavat näytteet tulee ottaa rakennekerrospaksuuksien mittauksen jälkeen ja näytteitä otetaan kaikista rakennekerroksista sekä pohjamaan pintaosasta. Näytteitä tulee ottaa vähintään 5 kg jokaista rakennekerrosta kohti ja näytteenotossa on varottava, etteivät kerrosmateriaalit sekoitu keskenään. Näytteitä voidaan ottaa koekuoppien ja putkinäytteiden lisäksi esimerkiksi autokairalla tai poraamalla näytteitä päällysteestä. Autokairalla saadaan häiriintynyt näyte pohjamaasta. Päällystenäytteet sen sijaan ovat luotettava keino päällysteen paksuuden määrittämisessä. [22, s. 13 - 14, 17].

Näytteiden vesipitoisuus saadaan selville punnitsemalla näytteen kuiva- ja märkätilavuuspainot ja laskemalla erotuksesta näytteen vesimäärä. Rakenteen vesipitoisuus voidaan myös mitata kohteessa radiometrisillä mittauksilla [22, s. 18]. Myös rakennekerrosten tiheyden määrittäminen on mahdollista tehdä radiometrisillä mittauksilla, mutta se voidaan tehdä myös esimerkiksi vesivolymetrimittauksilla [22, s. 18]. Materiaalien lämpöteknisten ominaisuuksien määrittämiseen riittää perustapauksissa tiedot näytteen rakeisuudesta ja vesipitoisuudesta. Erityistapauksissa rakenteesta tai näytteistä voidaan mitata lämmönjohtavuutta lämmönjohtosondilla. [22, s. 18, 20]. Rakennekerrosten hienoainespitoisuutta voidaan tutkia pesuseulonnalla. Seulontatuloksista saadaan rakennekerrosten rakeisuuskäyrät ja vertailemalla käyriä laatuvaatimuksiin voidaan tutkia, täyt-

tääkö rakennekerrokset esitetyt vaatimukset. Jos materiaaleista on tallella alkuperäiset rakeisuuskäyrät, voidaan tutkia esimerkiksi rakennekerrosten jauhautumista.

Olemassa olevan päällysteen tasaisuutta ja kitkaa voidaan tutkia esimerkiksi laserkeilauksella ja kitkamittauksilla. Päällysteen laatua ja ominaisuuksia voidaan tutkia laboratoriossa päällysteestä otetuista poranäytekappaleista. Päällysteen laatuvaatimuksia ja näytteiden tutkimista on kerrottu lisää Asfalttinormit 2017 -julkaisussa [1].

### **2.5.9 Kuivatusrakenteiden tutkimus- ja mittausmenetelmiä**

Katujen kuivatus hoidetaan pintakuivatuksella ja katurakenteen kuivatuksella. Erityistapauksissa myös alusrakenne kuivatetaan. Pintakuivatus hoidetaan usein hulevesiviemäröinnillä tai sivuojilla ja rakennekerrosten kuivatus salaojilla, jos rakenne ei pääse muuten kuivumaan. [16]. Sivuojen toimivuus voidaan tarkistaa silmämääräisesti. Jos silmämääräisellä tarkastelulla ei voida olla varmoja kaltevuuksista, ojan toimivuudesta saadaan tarkat tulokset mittaamalla. Myös kadun pintakuivatuksen toiminta voidaan tarkastaa visuaalisesti. Jos vesi jää kadun pinnalle valumatta kaivoihin tai sivuojaan, on kadun kuivatuksessa ongelmia. Jos pinnan kaltevuuksista ei voida silmämääräisesti sanoa, jääkö vesi makaamaan, pinnantasaukset on mahdollista mitata esimerkiksi laserkeilaamalla. Mittaamalla saadaan pinnan tasoista tarkka tieto ja havaitaan mahdolliset lammikoitumisalueet.

Hulevesiputket ovat katurakenteen sisässä, joten niiden kuntoa on haasteellista tarkistaa ainetta rikkomattomin menetelmin. Vesihuoltoverkoston käyttöikä on arviolta noin 40 - 60 vuotta [68, s. 9]. Käyttöikään vaikuttaa rakentamisen aikainen huolellisuus, verkoston materiaalit, veden ja pohjamaan laatu sekä virtaus- ja kuormitusolosuhteet [68, s. 9]. Maan sisässä olevien putkien kuntoa voidaankin arvioida putkien iän ja materiaalin perusteella. Hulevesiviemärien kuntoa voidaan tutkia myös virtausmittauksilla, savukoikeilla, TV-kuvauksella sekä Vuove-menetelmällä, jolla lasketaan vuotovesien määrää [44, s. 56]. Näillä keinoilla saadaan tietoa putkien sisäpuolisesta kunnosta. Myös putkien ulkopinnat voivat olla huonossa kunnossa, mikä on haasteellista tutkia ilman rakenteen auki kaivamista. Putkien kunnosta, mahdollisista tukkeutumisista ja kapasiteetin riittävyydestä saadaan tietoa seuraamalla ympäristöä ja mahdollista kaivojen tulvimista. Kuvassa 31 on esitetty tilanne, jossa hulevesiverkostolla on riittämätön kuivatuskapasiteetti.





*Kuva 31. Hulevesiverkosto tulvii rankkasateella. Kuva otettu noin kaksi tuntia sateen loppumisen jälkeen.*

### 2.5.10 Muita tutkimusmenetelmiä

Katujen kuntoa voidaan tutkia useilla menetelmillä, ja käytettävät tutkimustavat riippuvat tutkittavasta asiasta. Edellä mainittujen tutkimusmenetelmien lisäksi on myös muita keinoja katujen kunnon tutkimiseen. Alla on esitetty muutamia näistä muista menetelmistä.

Lämpökameralla voidaan tutkia tie- ja katurakenteissa ilmeneviä kuivatuspuutteita. Tutkimus perustuu siihen, että kuiva maaperä lämpenee keväällä nopeammin kuin kosteat kohdat, joissa on kuivatuspuutteita. Lämpökameramittausten ohella väylästä on hyödyllistä tehdä videokuvaus sekä kuivatusanalyysi, joilla voidaan tarkentaa lämpökameramittausten tuloksia. Lämpökameratutkimuksia on suositeltavaa tehdä yöllä, jolloin auringko ei lämmitä rakenteen pintaa ja lämpöä ei ole varastoituneena auringossa oleviin kohteisiin. [53, s. 17].

Konenäkö on järjestelmä, jossa tietokonenäköä sovelletaan teolliseen tarkoitukseen. Konenäköjärjestelmä koostuu kamerasta, tietokoneesta sekä kuvankäsittelyohjelmasta, jonka avulla kuvat tulkitaan automaattisesti. [30, s. 11]. Konenäköjärjestelmiä käytetäänkin erityisesti teollisuudessa ja hiljalleen tekniikkaa voidaan hyödyntää myös infralalla. Konenäön avulla on mahdollista tunnistaa etenkin päällystevaurioita. APVM-menetelmä hyödyntää omalla tavallaan konenäköä vaurioiden tulkinnassa, vaikka kuvien tulkinta on vielä haastavaa vaihtelevissa olosuhteissa tehtyjen kuvausten ja epähomogeenisen päällysteen pinnan seurauksena. Konenäköä on mahdollisuus soveltaa väylän pinnan kuvaamisen lisäksi tiemerkinäköjen kuntomittauksessa, liikennemerkkien tunnistuksessa sekä liikennelaskennoissa. [30, s. 35, 44, 50, 53, 58].

Teiden ja katujen kunnon mittauksessa voidaan hyödyntää myös lähes jokaiselta löytyvää älypuhelinta. Ruotsissa on kehitetty menetelmä, jonka avulla mitataan teiden, katujen ja pyöriteiden tasaisuutta puhelimissa olevaa värähtelysensoria sekä GPS:ää hyödyntämällä. Ohjelma on älypuhelinsovellus, johon on mahdollista internetyhteyden avulla siirtää puhelimen keräämää tasaisuustietoa. Tasaisuustiedot on mahdollista saada tarkasti paikalleen puhelimesta olevan GPS-mittauksen avulla. Mittaus ei ole niin tarkkaa kuin esimerkiksi PTM-mittauksella saavutetut tulokset, mutta mittaustapa on nopea, halpa ja datan määrä on helposti moninkertaista verrattuna tarkempiin mittauksiin. [9, s. 485 - 486][49, s. 1, 4 - 7].

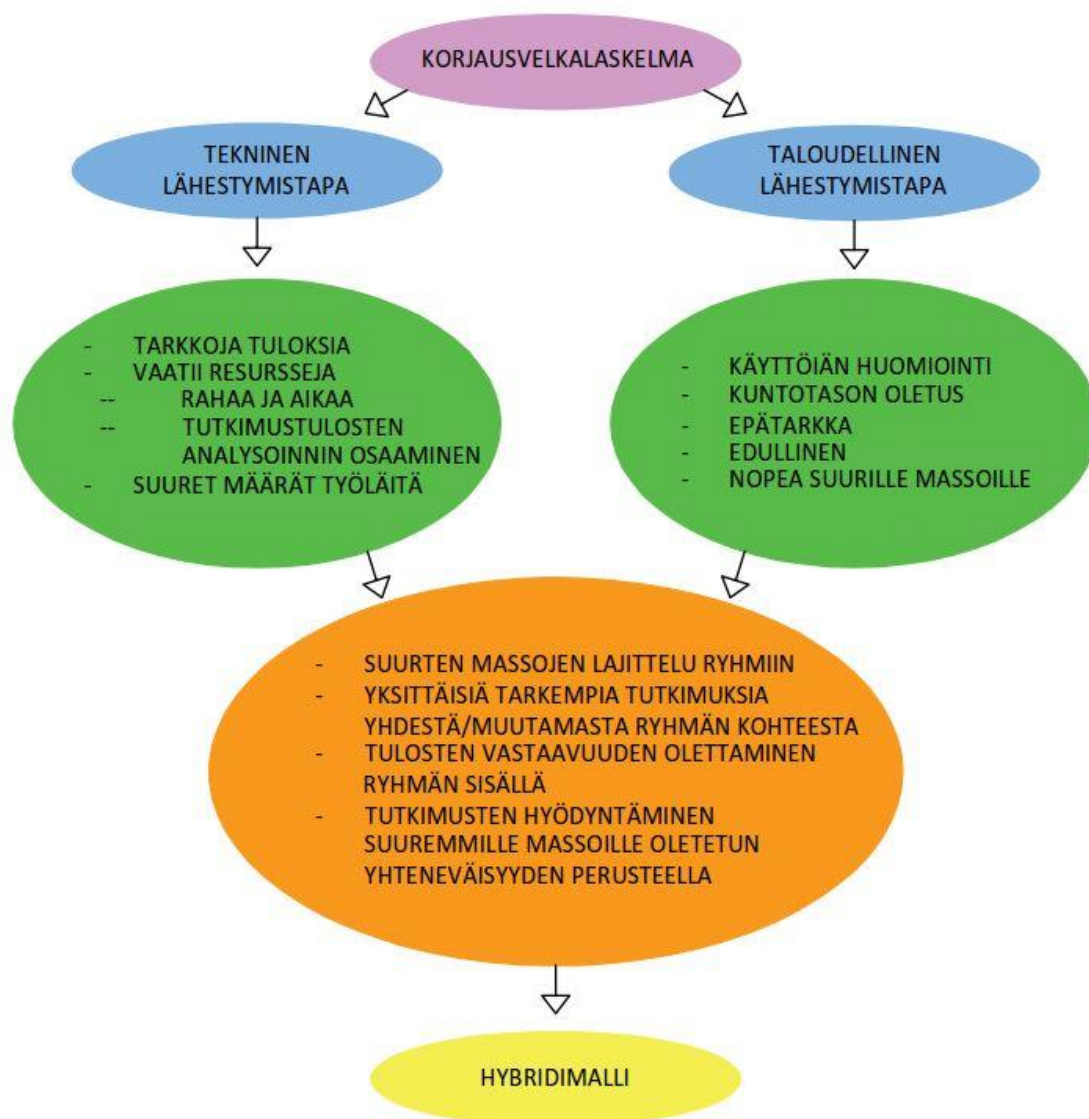
### 3. KORJAUSVELKA

Korjausvelka on edelleen melko määrittelemätön käsite Suomessa ja korjausvelkaan liittyvä termistö ei ole tuttua muille kuin asian kanssa enemmän työskennelleille. Korjausvelka on samankaltainen termi kuin tietomallinnus, joka ilmenee usein, mutta siltikään aina ei ole varmuutta, keskustellaanko samasta asiasta, vaikka käytetään samoja tai ainakin samantyyppisiä termejä. Vakiintuneen termistön luominen ja käyttö ovatkin perusedellytyksiä korjausvelka-aiheisille keskusteluille.

#### 3.1 Korjausvelan määrittely

Korjausvelka tarkoittaa omaisuuserän tavoitekontotason ja nykytilan välistä kuntoeroa ja rahasummaa, joka tarvitaan omaisuuserän tavoitekontotason mukaiseen kunnostukseen [6, s. 6][45, s. 6][70, s. 5]. Omaisuuserä on esimerkiksi yksi katu, tie, rautatie, vesiväylä, puisto tai jokin muu, mikä on jonkun omistuksessa ja minkä kunto heikkenee ilman huoltoa [45, s. 5]. Korjausvelkaa voidaan ilmaista toiminnallisesti kuntovajeena tai rahamääräisesti korjaukseen tarvittavana rahasummana [70, s. 5]. Korjausvelka ei voi olla negatiivista, vaan korjausvelkaa on joko jonkin lasketun tai määritetyn summan verran tai sitten sitä ei ole. Jos korjausvelkaa ei ole, omaisuuserä on tavoitekontotason mukaisessa tai sitä paremmassa kunnossa. [45, s. 6].

Korjausvelkaa ja sen määrittämistä voidaan lähestyä teknisesti, taloudellisesti sekä asiantuntija-arvioilla korjausvelan määräästä. Teknisissä lähestymistavoissa jokaisen omaisuuserän ominaisuudet ja nykykunto tiedetään. Tekninen lähestymistapa vaatii suurta tietomäärää, keskitettyä kunnossapidon hallintaa sekä säännöllisiä kuntotutkimuksia, mutta on ajantasainen menetelmä. Taloudellinen lähestymistapa perustuu omaisuuserien uudisarvoon tai kirjanpitoarvoon. Taloudellisessa lähestymistavassa omaisuuserien arvioitu kunto heikkenee, kun oletettu ja suunniteltu käyttöikä saavutetaan. Asiantuntija-arvioissa työryhmät arvioivat nykytilanteen, tapahtuneen kehityksen sekä korjausvelkamäärän käytössään olevan asiantuntemuksen perusteella. [71, s. 11 - 12]. Korjausvelkaa voidaan määrittellä myös niin kutsutulla hybridimallilla, jossa omaisuuseriä jaotellaan samanlaisiin mahdollisimman homogeenisiin osuuksiin. Osalle ryhmän kohteista tehdään tutkimuksia ja näiden tulosten oletetaan vastaavan ryhmän muidenkin kohteiden kuntoa. Kuvassa 32 on havainnollistettu hybridimallin periaatetta. [45, s. 19 - 20].

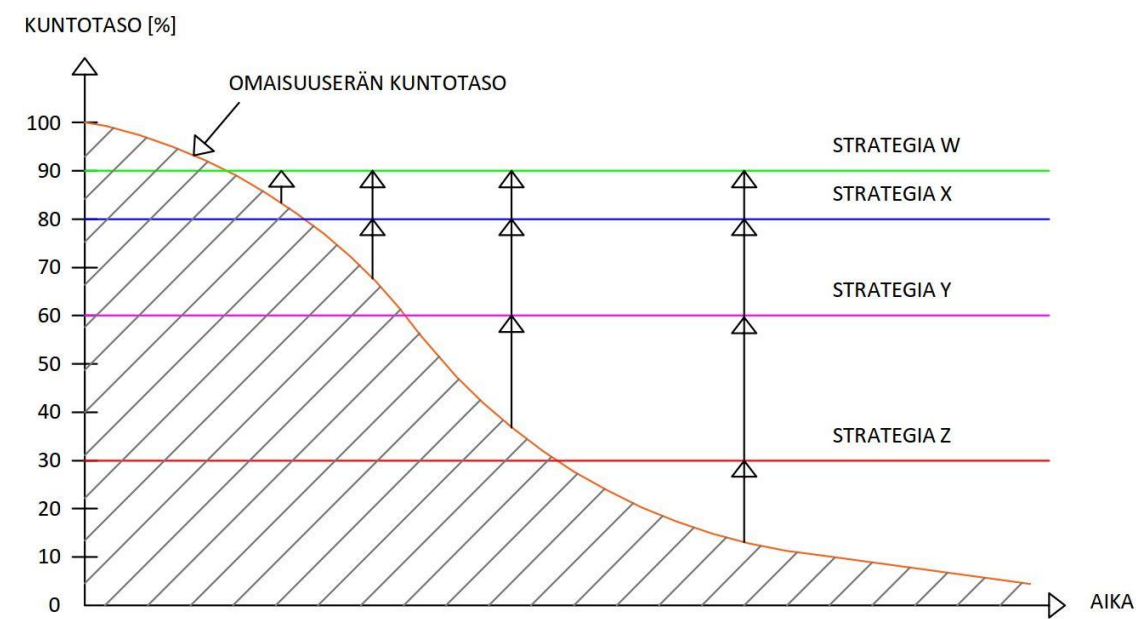


**Kuva 32.** Korjausvelan määrittäminen hybridimallilla. Kuva laadittu lähteen [45, s. 31] pohjalta

Omaisuserien tavoitekuntotasosta käytetään Kuntaliiton KEHTO-hankkeissa nimikettä optimikuntotaso. Optimikuntotaso kuvaa sitä, mille tasolle omaisuserän kunto voi laskea ilman korjausvelan syntymistä. Optimikuntotason määrittäminen on strateginen valinta, ja tällä valinnalla määritellään, kuinka paljon omaisuserien kunnon sallitaan heikkenevän ennen korjausvelan syntymistä. [45, s. 7]. Laskennallinen korjausvelan määrä ei ole yksiselitteinen käsite. Korjausvelkaa saadaan arvioitua usealla tavalla ja laskennalliseksi määräksi saadaan rahasummia. Koska korjausvelka määritetään omaisuserän optimikuntotason ja nykytilanteen erotuksena, vaikuttaa optimikuntotason määrittely huomattavasti korjausvelan määrään.

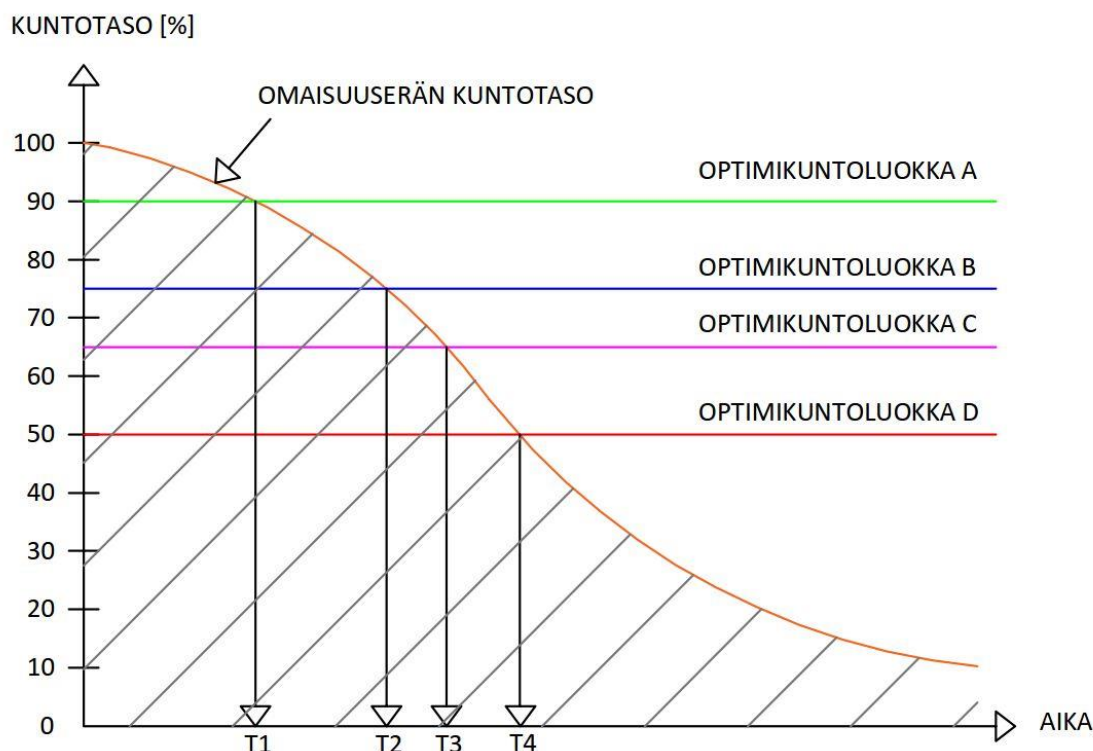
Optimikuntotason määrittelyn vaikutuksia korjausvelan määrään on havainnollistettu kuvassa 33. Kuvassa on esitetty keksityt esimerkkistrategiat W, X, Y ja Z, joilla kuvataan valittua optimikuntotasoluokkaa jollekin omaisuserälle. Strategialla W korjaus-

velkaa syntyy jo nopeasti ja huonokuntoisilla omaisuuserillä korjausvelan määrä on suuri. Strategialla Z omaisuuserät saavat mennä huonoon kuntoon ennen korjausvelan syntymistä ja tällöinkään korjausvelan määrä yksittäisessä kohteessa ei ole erityisen suuri. Samalla kuitenkin omaisuuserien kuntotaso ei ole hyvä. Omaisuuserän korjaaminen täysin uutta vastaavaksi maksaa jonkin rahasumman riippuen omaisuuserän nykytilasta, ja tämä rahasumma ei ole sidoksissa korjausvelan määrään. Korjausvelan määrä riippuu määritetystä optimikuntotasosta, joten korjausvelan määrä samankuntoisilla omaisuuserillä voi vaihdella suuresti. Samoista omaisuuseristä samoilla kuntotiedoilla on mahdollista saada useita eri korjausvelkasummia optimikuntotasosta riippuen.



**Kuva 33.** Optimikuntotason määrittelyn vaikutukset korjausvelkaan

KEHTO-hankkeessa omaisuuserät on jaettu neljään optimikuntoluokkaan, jossa jokainen kuntoluokka vastaa yhtä optimikuntotasoa. Luokat ovat A - D joista A-luokka vastaa 90 %:n, B-luokka 75 %:n, C-luokka 65 %:n ja D-luokka 50 %:n optimikuntotasoa. [45, s. 12 - 13]. Kahdesta samankuntoisesta omaisuuserästä toinen voi siis aiheuttaa korjausvelkaa ja toinen on tavoitteiden mukaisessa kunnossa omaisuuserien kuuluessa eri optimikuntoluokkiin. Kuntoluokan ja optimikuntotason vaikutusta korjausvelan syntymisnopeuteen on havainnollistettu kuvassa 34. Korjausvelan syntymisnopeuden perusteella voidaan arvioida omaisuuserien korjaussyklejä ja niiden ajoittumista eri optimikuntoluokilla.



**Kuva 34.** Optimikuntotasojen vaikutus korjausvelan syntymiseen

Kadut on jaoteltu Suomessa korjausvelalaskennassa kolmeen luokkaan: pää-, kokooja- ja tonttikatuihin. Pääkadut kuuluvat yleensä kuntoluokituksestaan A-luokkaan, kokoojakadut B-luokkaan ja tonttikadut C-luokkaan. [45, s. 12 - 13]. Pääkaduilla korjausvelkaa alkaa syntyä nopeammin kuin muilla katuluokilla. Pääkatujen liikennemäärät ovat kaikkein suurimmat, joten katujen kulumisen ja kuormitus ovat suurempia kuin alempilukaisilla kaduilla. Korkealla optimikuntotasolla ja kuntotason ylläpidolla voidaan estää kovan kuormituksen alaisen kadun rakenteiden kunnan romahtaminen.

Korjausvelka määritetään omaisuuserän nykyisen kuntotason ja optimikuntotason erotuksena, joka esitetään prosenttilukuna. Korjausvelan rahallinen määrä saadaan laskettua kertomalla omaisuuserän uudishinta optimikuntotason ja nykyisen kuntotason erotuksella. Laskettu summa vastaa sitä rahasummaa, joka tarvitaan omaisuuserän kunnostamiseksi optimikuntotason mukaiselle tasolle. Todellisuudessa kohteet korjataan usein optimikuntotasoa parempaan kuntoon, sillä muuten omaisuuserä alkaisi kerryttää korjausvelkaa välittömästi kunnostuksen jälkeen. Tämän seurauksena saneerauksissa ja korjauksissa käytettävä rahamäärä on tavallisesti suurempi kuin korjausvelan mukainen rahamäärä. Omaisuuserien kunnostamista optimikuntotasoa parempaan tai uutta vastaavaan kuntoon kutsutaan korjausvastuuksi. [45, s. 6, 17].

Korjausvelan määrittämisestä on ollut käytössä erilaisia ja toisistaan poikkeavia laskentatapoja, joiden vertailu on ollut hankalaa. Korjausvelan laskentamallia on kehitetty Euroopan tasolla ERANET-Backlog -projektissa vuosina 2008 - 2009, ja kyseistä mallia on sovellettu Suomen maantieverkolle. Laskentamallissa on huomioitu väyläomaisuus

eli tiet, rautatiet ja vesiväylät. [71, s. 8]. Suomen väyläomaisuudelle on tehty korjausvelkalaskelmat vuosina 2011, 2016 ja 2017. Vuonna 2011 korjausvelan määräksi laskettiin 2 165 miljoonaa euroa, vuonna 2016 2 392 miljoonaa euroa ja vuonna 2017 2 473 miljoonaa euroa. Laskennat eivät kuitenkaan ole vertailukelpoisia keskenään, koska vuoden 2011 ja vuosien 2016 ja 2017 välillä lähtötiedot ja kunnossapitolitiikka ovat muuttuneet. Myöskään vuosia 2016 ja 2017 ei voida suoraan vertailla keskenään, sillä laskennoiden välillä on eroja määrissä, kuntotiedossa ja yksikköhinnoissa. [5, s. 22][6, s. 22 - 23][71, s. 36].

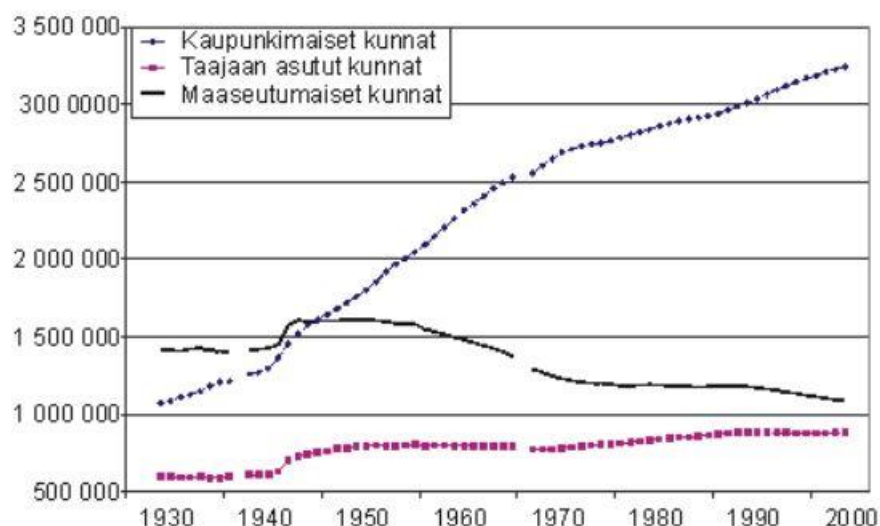
Kuntatasolla korjausvelan laskentaa on käsitelty KEHTO-foorumin katujen korjausvelkalaskennan määrittämishankkeessa. Hankkeen tavoitteena on korjausvelkalaskennan periaatteiden määrittäminen ja laskentaohjeen tuottaminen. [45, s. 4]. Yhtenäisillä periaatteilla ja laskentatavoilla eri osapuolten tekemien korjausvelkalaskelmien vertailu olisi mahdollista. Korjausvelan periaatteiden määrittämishanketta jatkettiin korjausvelan laskentahankkeella, jonka tavoitteena oli kehittää korjausvelkalaskentaan soveltuva työkalu [46, s. 4]. Korjausvelan laskentahanketta on jatkettu korjausvelan laskennan kehityshankkeella, jonka tavoitteena oli parantaa aiemmassa hankkeessa luodun korjausvelkalaskimen käytettävyyttä sekä päivittää laskimessa olevat hintatasot vastaamaan paremmin nykyisiä hintatasoja [18, s. 4]. Korjausvelan laskentahankkeessa luotua työkalua käsitellään tarkemmin luvussa 4 Korjausvelkalaskin.

## **3.2 Katujen ja väylien kuntotila**

### **3.2.1 Kunnan seuraaminen**

Suomessa kaupunkimaisten kuntien asukasmäärät kasvoivat sotien jälkeen aina 1970-luvun alkuun saakka. Kasvu hidastui 1980-luvulla, mutta 1990-luvun puolivälin jälkeen kaupunkien asukasmäärien nousu ja kaupungistuminen kiihtyivät uudelleen [19]. Asukasmäärien muutos kaupungeissa on esitetty kuvassa 35. 1970-luvulla asuntojen ja asuinalueiden tarve on kasvanut, mikä on lisännyt myös katujen ja kunnallistekniikan rakentamisen tarvetta. Asukasmäärien kasvaessa myös uusien asuinalueiden kaavoittamista ja rakentamista on jatkettu. Katu- ja kunnallistekniikkaa rakennettaessa on rakennusaikaisten kustannusten säästämiseksi käytetty normaalien katurakenteiden lisäksi niin kutsuttua kevennettyä kunnallistekniikkaa. Kevennetty kunnallistekniikka tarkoittaa, että rakentamisen aikana on käytetty laatuvaatimuksia kevyempiä ratkaisuja, kuten ohuempia rakennekerroksia tai huonolaatuisempaa päällystemateriaalia [38, s. 12]. Kaupungistumisen aikana rakennetut katuverkot alkavat olla ikänsä puolesta jo hyvin vanhoja ja ovat usein huonokuntoisia. Kevennetyt ratkaisut osaltaan vaikuttavat katujen kuntoon ja vaurioitumisnopeuteen. Katujen ikä sekä aikanaan tehdyt päätökset tingityistä rakenteista realisoituvat nyt katujen huonona kuntona sekä suurena korjausvelan määränä.





**Kuva 35.** Asukasmäärien muutos kaupunkimaisissa kunnissa [19]

Katujen ja teiden kuntoa on seurattu ainakin 1980-luvulta lähtien [41, s. 20][69], mutta lähivuosina asiaan on alettu kiinnittää enemmän huomiota. Korjausvelan määrittämisestä on tehty tutkimuksia, muun muassa ERANET-Backlog -tutkimus [70], jonka tuloksia on hyödynnetty Euroopassa laajemminkin. Euroopan lisäksi korjausvelkaa on tutkittu muun muassa Australiassa [27] ja Pohjois-Amerikassa [2][69]. Teiden ja katujen kuntoa tutkittaessa on havaittu kunnan heikkenevän tarkastelujaksojen aikana ja kunnostamiseen tarvittavan rahamäärän puolestaan kasvavan [2, s. 7][27, s. 2][69, s. 30]. ERANET Backlog-projektin jälkeen Itävallassa on tutkittu tieverkon kuntoa sekä kunnossapitobudjetin vaikutuksia tieverkon kuntoon. Litzkan ja Weninger-Vycudilin tutkimuksessa [26] todettiin tieverkon rapistuvan vuoteen 2020 mennessä, jos kunnossapitobudjetti pysyy nykyisellä tasolla. Litzkan ja Weninger-Vycudilin tutkimuksessa [26] myös selvitettiin, millaisella lisäbudjetoinnilla tieverkon kunto saataisiin pidettyä nykyisellä tasolla vuoteen 2020 saakka. [26].

Nykyisen tieverkon kuntoa on seurattu, tutkittu ja inventoitu Suomessa jo 1970-luvulta lähtien ja päällystettyjen teiden kuntotietoa ja vauriomääriä on saatavissa 1980-luvun lopusta saakka. Teiden kuntotietoa, kuten esimerkiksi uraisuutta, tasaisuutta ja vauriosummaa on kerätty kuntorekisteriin (KURRE). Tierekisteriin on kerätty tietoa esimerkiksi teiden leveydestä, teille tehdyistä toimenpiteistä, liikennemääristä sekä päällystetyypistä. Kunto- ja tierekisterin lisäksi on olemassa muun muassa siltarekisteri, onnettomuusrekisteri sekä sorateiden kuntotiedot sisältävä T&M Sora -rekisteri. [41, s. 19 - 23]. Kaikissa näissä rekistereissä on tietoa teiden teknisistä ominaisuuksista, teiden kunnosta, tiealueilla sijaitsevista rakenteista tai muuten teiden käyttöön liittyvistä tiedoista.

Kaupungeilla ja kunnilla katujen kunnan järjestelmällinen seuraaminen ei ole ollut yhtä laajamittaista ja jatkuvaa kuin tieverkolla. Taloustutkimuksen tekemässä kuntainfraseliviyksessä kuntien teknisen toimen asiantuntijoiden vastausten perusteella noin kolmas-

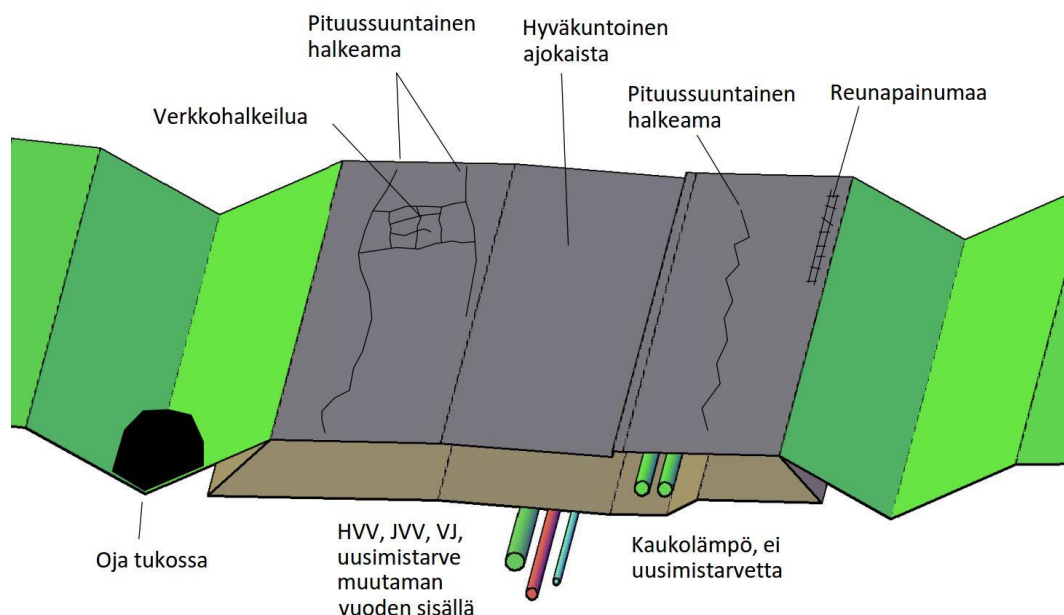
osassa kaikista kunnista infrarakenteiden korjausvelan määrää ei käytännössä ole selvitetty. Lisäksi alle puolella kunnista on pitkäjänteinen suunnitelma infran korjausvelkämäärän lyhentämiseen. [14, s. 47, 49].

### 3.2.2 Kuntotiedon kartoittaminen

Katujen kuntoa on mahdollista tutkia päällysteen ja pintarakenteiden lisäksi päällystekerrosta syvemältä. Tutkimuksissa on mahdollista käyttää muun muassa luvussa kaksi esitettyjä menetelmiä ja tutkimustulokset on mahdollista viedä tietokantoihin lisäämään tietoa ja helpottamaan päätöksentekoa. Katujen ja katurakenteiden kunnosta ja mahdollisesti tulevasta vaurioitumisesta on täten mahdollista saada tietoa ennakkoon tutkimusten avulla. Vaurioituneista kaduista on mahdollista tutkia vaurioitumisen seurausten lisäksi vaurioitumisen syitä. Kunnostamisen yhteydessä kaduista ja muista omaisuuseristä pitäisi korjata vaurioitumisen syyt, jotta myös seurauksen poistuisivat.

Nykyisellä GPS-paikannuksella on mahdollista kartoittaa vaurioituneet kohdat katulinjalta hyvinkin tarkasti. Vaurioiden sijaintia ei ole välttämätöntä sitoa katujen nimiin ja kaduilla esimerkiksi rakennuksiin tai etäisyyksiin liittymistä. Katujen nimet ja selvästi havaittavat kohdat maastossa kuitenkin parantavat sijainnin kohdistamista. Kaduilla olevien yksittäisten vaurioituneiden osuuksien osalta mittatarkkuus mahdollistaisi, että kaduista riittäisi vain vaurioituneen osan korjaaminen ja ehjiä kohtia ei avattaisi turhaan. Katualueella kokonaistaloudellisesti kustannustehokkaassa korjaamisessa tulisi kuitenkin huomioida myös muut kunnallistekniset rakenteet, mikä asettaa omat haasteensa saneerattavien osuuksien pituuksille sekä saneerausajankohdille.

Katualueella olevan monipuolisen infran kuntoa, kunnostamistarvetta sekä kadun ja kunnallistekniikan sopivan kunnostamisajankohdan haasteita on havainnollistettu kuvassa 36. Kuvassa on esitetty kuvitteellinen esimerkkikaturakenne. Kuvassa kadun alla kulkee hulevesi- ja jätevesiviemärit, vesijohto sekä kaukolämpöputket. Kadun vasemmanpuoleinen ajokaista on huonokuntoinen ja halkeillut oikean ajokaistan ollessa hyväkuntoinen. Oikean ajokaista alla kuitenkin kulkee saneeraustarpeessa olevia vesihuollon putkia. Jalankulku- ja pyöräväylän alla kulkee hyväkuntoinen kaukolämpöputki, kun taas väylän pinta on haljennut ja lisäksi väylällä on vähäistä reunapainumaa. Vasemman ajokaistan puoleinen oja on tukkeutunut.



**Kuva 36.** Katualueella olevan infran eriaikaisia saneeraustarpeita

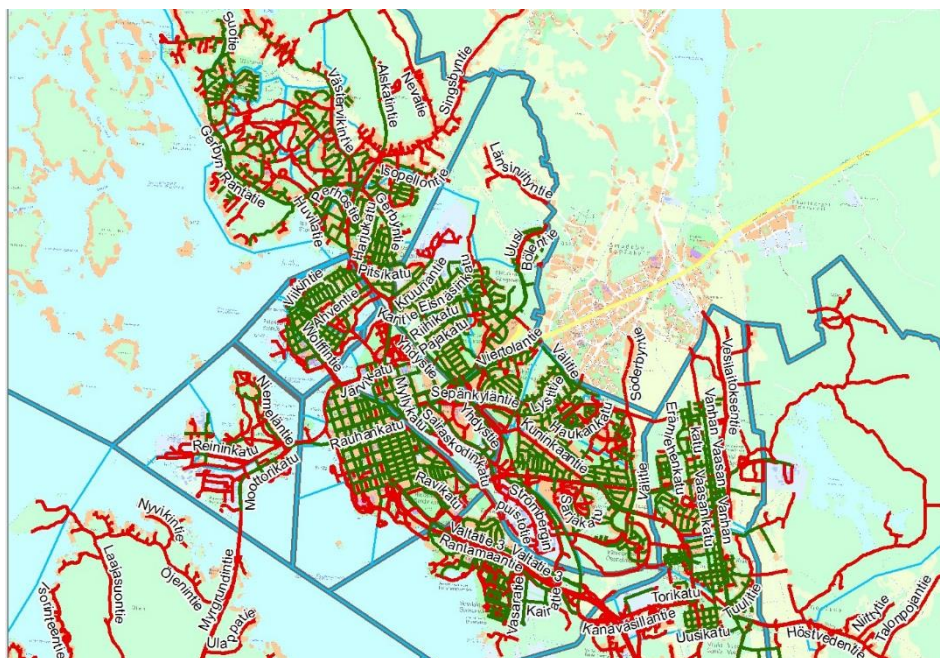
Katujen kuivatuksen kuntoa ja toimivuutta on mahdollista seurata ja kartoittaa katurakenteen pinnalla olevan veden avulla. Jos vesi jää rakenteen päälle pitkäksi aikaa, kadun kuivatuksessa on ongelmia ja kadulla on kunnostustarvetta. Ongelmia voivat aiheuttaa tukkeutuneet kaivot, putket tai ojat sekä pinnantasauksen muutokset siten, että lammituminen tapahtuu muualla kuin kaivon kohdalla. Kuivatusrakenteiden kunnan tutkimista on käsitelty tarkemmin luvussa 2.5.9. Kuivatusrakenteiden korjaamiseen saattaa riittää ojien siistiminen ja muotoilu, joten kuivatusrakenteiden kunnostaminen voi olla helpompaa kuin muun rakenteen kunnostaminen. Kuivatus voidaan saada myös toimimaan pinnantasauksen muutoksilla, jotka on mahdollista toteuttaa esimerkiksi uudelleen-asfaltoinnin yhteydessä.

### 3.2.3 Kuntotiedon säilyttäminen

Suuremmissa kaupungeissa katujen suunnitelmia ja saneeraustoimenpiteitä on arkistoitu, ja lisäksi katujen kunnosta ja ylläpidosta vastaavilla henkilöillä on ollut tietoa katujen kunnosta. Pienemmissä kunnissa katusuunnitelmien arkistointi ei ole aina laadukasta ja katusaneerausten mahdollisina lähtötietoina käytettävät alkuperäiset katusuunnitelmat eivät aina ole kaikkien saatavilla, vaan tieto on usein vain asiasta vastaavilla henkilöillä. Näin on käynyt esimerkiksi entisessä Vähänkyrön kunnassa, joka liitettiin Vaasan kaupunkiin vuonna 2013. Tietoja Vähänkyrön kaava-alueen katujen rakentamisvuosista ja tiedoista löytyi pääasiassa kunnan työntekijän muistista [48, s. 31].

Tekniikan kehittyessä erilaiset kuntotietoa sisältävät rekisterit ovat lisääntyneet ja kunnilla saattaa olla Excelin lisäksi sovelluksia, kuten ArcMap, jotka sisältävät tietoa kaduista [48, liite 1]. Kuvassa 37 on esitetty näkymä ArcMapista. Rekisterit saattavat si-

sältää katujen rakentamis-, saneeraus- tai uudelleenpäällystysvuoden sekä esimerkiksi tietoa kadun leveydestä. Monilla yrityksillä, jotka myyvät kuntotutkimuspalveluita, on omia sovelluksia, palveluita tai rekistereitä, jotka sisältävät esimerkiksi tietoja yrityksen tekemistä kuntomittauksista. Erilaisilla ylläpidettävillä rekistereillä tiedot on mahdollista pitää ajantasaisina ja päivitettyinä.



*Kuva 37. Näkymä ArcMap-ohjelmasta [48, liite 1 s. 6]*

### 3.3 Korjausvelan laskenta Vaasassa

Raution [48] mukaan Vaasassa kaupungin Kuntateknikka-yksikkö on taulukoinut uusia investointeja, saneerauksia, katuverkon uudisarvoa ja korjausvelkaa vastaavaa kuntovajetta vuodesta 1951 lähtien. Uudisarvo sekä kuntovaje ovat olleet euromääräisiä arvioita vuoteen 2006 saakka. [48, s. 18].

Vaasan kaupunki oli mukana KEHTO-kuntien korjausvelan laskentahankeprojektissa vuosina 2013 - 2014, joiden aikana kehitettiin Excel-pohjainen korjausvelan laskentatyökalu. Ensimmäinen valmis versio laskimesta ilmestyi vuoden 2014 syksyllä. Vuosien 2014 ja 2015 aikana kaupungin kaduista tehtiin uudisarvolaskelmat Rapal Oy:n Fore-ohjelmalla sekä korjausvelkalaskelma KEHTO-foorumin hankkeessa kehitetyllä korjausvelkalaskimella. Vuonna 2015 laskettu korjausvelan määrä oli noin kymmenkertainen verrattuna vuoden 2006 kuntovajearvioon. Korjausvelan laskennasta Vaasassa on kerrottu lisää Raution [48] opinnäytetyössä. [48, s. 11, 36].

Excel-pohjainen korjausvelkalaskinta on päivitetty vuonna 2015 tehtyjen laskelmien jälkeen. Vaasan kaupungin kaduista tehtyjä korjausvelkalaskelmia ei kuitenkaan ole päivitetty uudempaan laskinversioon. Päivitetyllä laskimella voisi olla vaikutuksia arvi-



oidun korjausvelan kokonaismäärään. Laskimessa tehtyjä muutoksia ja niiden vaikutuksia tarkastellaan tarkemmin luvussa 4 Korjausvelkalaskin.

Vaasan kaupunki ei ole tehnyt mahdollisten kairausten lisäksi katuverkon kunnosta tutkimuksia, joita voitaisiin hyödyntää korjausvelkalaskennassa. Kaupungilla on kuitenkin ollut kaduistaan saneerattavien katujen lista, johon on poimittu katuja palautteiden perusteella. Kuvissa 38 ja 39 näkyy listalla olevien katujen kuntoa. Listalla olevilla kaduilla on huomioitu myös Vaasan Veden saneeraustarpeet ja listaan onkin kerätty katujen ja kadun alla kulkevan vesihuollon yleisiä tietoja sekä korjauskustannustietoa. Katujen kunnosta, vaurioiden tyypistä ja sijainnista katuosuudella on kerrottu listan erillisessä huomiokentässä. Listaa on hyödynnetty katujen kunnostustarpeen ja -järjestyksen huomioimisessa.



**Kuva 38.** Korjaustarpeessa oleva katu (Vanhan Vaasan katu)





*Kuva 39. Korjaustarpeessa oleva katu (Pitkänevantie)*

### **3.4 Korjausvelan laskenta- ja tutkimusmenetelmiä muualla Suomessa**

Suomessa teiden ja katujen kuntoa on tutkittu jo vuosia, mutta tarkemmat tutkimukset ja kuntotiedon seuranta on tehty pääasiassa valtion omistamilla väylillä. Myös muutamat kunnat ovat olleet edistyksellisiä omien katujensa kuntotiedon kartoittamisessa ja tietojen ylläpitämisessä. Rovaniemen kaupungissa pää- ja kokoojakatujen toiminnallista ja rakenteellista kuntoa on tutkittu 2000-luvun alusta saakka muun muassa maatutkauksen, pudotuspainolaitteen ja katujen pinnan laserkeilauksen avulla [50].

Suomen Kuntaliiton ja 21 kaupungin muodostama KEHTO-foorumi on ollut mukana yli kymmenessä kunta-alan kehittämishankkeessa, joista yksi on yhteistyössä toteutettu

korjausvelan laskentamallin kehittäminen [20]. Laskentamallin kehittämistä edelsi korjausvelan periaatteiden määrittämishanke, joka rajattiin koskemaan katu- ja viheralueita ja jonka tavoitteina oli laskennan periaatteiden määrittäminen, laskentaohjeen tuottaminen sekä yhteisen korjausvelka-aiheisen termistön luominen [45, s. 4]. Katujen korjausvelan laskentaan kehitetyn ilmaisen laskimen avulla kuntien on mahdollista tehdä vähintään teoreettinen korjausvelan laskenta kunnan katu- ja viheralueista.

Korjausvelkaa on laskettu Suomen kaupungeissa ja kunnissa korjausvelkakäsitteen yleistymisen myötä teoreettisesti, kuntoinventointien pohjalta sekä tutkimuksiin perustuen. Esimerkiksi Vaasassa korjausvelkalaskenta on tähän mennessä tehty teoreettisesti korjausvelkalaskimella. Kestin [21] mukaan Kuopiossa vuosien 2012-2013 aikana suoritettujen kuntoinventointien tuloksista laskettiin kustannuslaskentaohjelmalla hinta-arvio Kuopion väyläverkolla tarvittaville korjauksille eli korjausvastuulle sekä korjausvelalle. Vuonna 2013 Kuopiossa tehtiin myös suppeampi inventointi, joka sisälsi myös maatutkan käyttöä. [21, s. 57, 70]. Raution [48] mukaan Lahdessa on tehty teoreettiseen laskentaan sekä mittaustuloksiin perustuvaa korjausvelan laskentaa. Laskennoissa havaittiin korjausvelan olevan korkeampi teoreettisilla laskelmilla kuin mitattuun tietoon perustuvissa laskelmissa, minkä pääteltiin olevan seurausta lähtötietojen puutteellisuudesta. Vuoden 2015 aikana Lahdessa on tehty katualueiden PTM-mittauksia, joita on täydennetty maatutkauksilla. [48, s. 52 - 53].

Joensuussa on laadittu kuntotutkimukset kaikille kaupungin kaduille, jalkakäytävillä sekä pyöriteille vuosien 2011 - 2016 aikana. Kuntotutkimuksissa kaduille tehtiin maastoinventointi mittausajoneuvolla, jossa oli video- ja maatutkalaitteisto sekä DGPS (Differential Global Positioning System) -laitteisto mittausten paikannukseen. Maastomittausten yhteydessä laadittiin syyperusteinen vaurioinventointi, jota tarkennettiin tutkimusaineiston avulla. Maatutkauksista analysoitiin pää- ja kokoojakatujen päällystepak-suudet ja rakennekerrosten tulkintaa tehtiin tarpeen mukaan. Joensuun pää- ja kokoojakaduille tehtiin PTM-mittauksia erillisen mittausohjelman mukaisesti. Kantavuusmittauksia tehtiin tarpeen mukaan muiden kuntotutkimusten tulosten perusteella. Väylille on tehty myös kuivatustarkastelua kuntotutkimusten yhteydessä. [8, s. 5 - 9].

Oulussa on tehty PTM- ja APVM-mittauksia vuosina 2014 ja 2016. Vuonna 2014 mittauksia suoritettiin kaduilla, jotka kuuluivat hoitoluokkiin 1 ja 2 ja jotka oli rakennettu ennen vuotta 2000. Vuonna 2016 mittauksia tehtiin pääasiassa ennen vuotta 2005 rakennetuille väylille, joilla ei oltu tehty mittauksia aikaisemmin. Mittausohjelmassa oli myös joitain vuonna 2014 mitattuja katuja keskustan alueelta. Tutkimustulosten perusteella kadut jaoteltiin kuntoluokkiin viisiportaisen kuntoluokituksen mukaisesti. Tutkimustuloksista tehdyssä korjausvelkalaskelmassa huomioitiin vain kuntoluokkiin kaksi (huono) ja yksi (erittäin huono) kuuluvat katupituudet. Korjausvelka syntyi pääasiassa uudelleen päällystämisestä. [66, s. 3, 9, 14 - 16].



Vantaalla on tehty katujen mittauksia PTM- ja APVM-laitteistoilla vuosien 2014 ja 2015 aikana. PTM-mittauksia on tehty ylemmälle katuverkolle eli pää- ja kokoojakaduille ja APVM-mittauksia alemmalle katuverkolle eli tonttikaduille. Katujen kuntoluokitukset on määritetty mittaustuloksista ja eri kuntoluokat on sidottu KEHTO-foorumin hankkeissa määritettyihin optimikuntotasoihin. Mittaustulosten perusteella tehdyn katujen kuntoluokituksen, katujen toiminnallisen luokan ja pinta-alan mukaan kaduista on tarkoitus tehdä korjausvelkalaskelma. Vantaalla on kokeiltu myös KEHTO-foorumin korjausvelkalaskinta Innovaatioprojektissa syksyllä 2015, mutta tuolloin laskeksen todettiin arvioivan kadut liian huonokuntoisiksi. [33, s. 2, 9 - 10, 16, 18, 21].

Kemissä on tehty opinnäytetyönä korjausvelkalaskelma kestopäällystetyille kaduille sekä jalankulku- ja pyörävyylille. Kaikkien kestopäällystettyjen katujen kunto selvitettiin maastokatselmuksilla vuonna 2014. Jalankulku- ja pyöräilyväylät jätettiin katselmusten ulkopuolelle ja ne huomioitiin korjausvelkalaskennassa uudisarvomenetelmällä. Tutkimusmenetelmäksi valikoitui maastokatselmus kaupungin katujen vähäisen määrän vuoksi. Tutkimuksissa katujen kuntoa arvioitiin katurakenteen pintakunnon perusteella, minkä lisäksi kiinnitettiin huomiota pintakuivatuksen toimivuuteen. Maastokatselmuksen tulosten perusteella kadut jaoteltiin neljään eri luokkaan vaurioituneisuuden mukaisesti. Kaduille laskettiin, kuinka paljon maksaisi korjata katu uudenveroiseksi eli tilanteeseen, missä katujen kuntotaso olisi 100 %. Katujen korjausvelan prosentuaalinen määrä laskettiin optimikuntotason ja nykyisen kuntotason prosenttiyksiköiden erotuksena. Tämä prosenttilukema muutettiin desimaalilukemaksi ja kerrottiin summalla, joka tarvitaan kadun 100 % kuntotasaan rakentamisessa ja tästä laskettiin katujen euromääräinen korjausvelkamäärä. Korjausvelkalaskelmasta on kerrottu enemmän Väisäsen [67] opinnäytetyössä. Väisäsen [67] opinnäytetyössä Kemin kaduista laskettiin korjausvelka myös korjausvelkalaskimella, mutta olemassa olevat lähtötiedot olivat osittain puutteellisia ja epätarkkoja. [67, s. 11, 24 - 25, 32 - 37, 40].

Korjausvelkalaskelmia on siis tehty teoreettisilla laskelmilla sekä mittaustuloksiin perustuen. Mittaustuloksiin perustuvat laskelmat ovat useimmiten perustuneet päällysteen kunnon tutkimiseen sekä päällystevaurioinventointeihin. Pintaa syvemmälle meneviä tutkimuksiakin on tehty, mutta niitä ei ole käytetty niin laajamittaisesti kuin pelkille päällysteille tehtyjä tutkimuksia. Maatutkausten tulkintoja sekä pudotuspainolaitteella tehtyjä kantavuusmittauksia on tehty syyperusteisissa tutkimuksissa sekä huonokuntoisemmissa kohteissa. Esimerkiksi Joensuussa maatutka-aineistosta rakennekerrostulkinnat on tehty kaduille, joille on laadittu katusaneeraussuunnitelmat [8, s. 7].

### 3.5 Korjausvelan laskentamenetelmiä Suomen ulkopuolella

#### 3.5.1 ERANET-Backlog -projekti

ERANET-Backlog -projektissa tutkittiin teiden ylläpidon ja kunnossapidon toimintatapoja. Hankkeessa oli mukana seitsemän maan (Iso-Britannia, Itävalta, Norja, Ruotsi, Suomi, Sveitsi, Tanska) Liikennevirastoa vastaavat yksiköt sekä PMS-Consultin ja Institute for Transport Planning and Systemsien johtama konsortio. Hankkeessa kerättiin tietoa eri maiden toimintatavoista ja pyrittiin löytämään parhaita käytäntöjä korjausvelan laskentaan ja hallintaan. [70, s. 3].

Hankkeen aikana havaittiin, että hankkeeseen osallistuneissa Pohjoismaissa korjausvelkaa laskettiin ja arvioitiin laajasti verrattuna muihin maihin. Korjausvelka määriteltiin hyvinkin samanlaisesti eri Pohjoismaiden kesken. Korjausvelan määrittelyssä ja laskennassa oli eroja tutkimuksessa mukana olleiden muiden maiden välillä ja esimerkiksi Iso-Britanniassa termiä ei oikeastaan edes tunnettu. Iso-Britanniassa teiden tulee olla vähintään optimikuntotasoa vastaavassa kunnossa, minkä seurauksena maassa ei teoreettisesti katsottuna ole korjausvelkaa. [70, s. 4, 76, 128, 131].

ERANET-Backlog -projektissa selvitettiin myös korjausvelka-termin yleisyyttä kirjallisuudessa. Projektiin valittiin tarjasteltavaksi julkaisut neljästä vuosien 2006 ja 2008 aikana pidetystä tunnetuimmista päällysteisiin ja omaisuuden hallintaan liittyvissä konferensseista. Näiden lisäksi tutustuttiin Yhdysvalloissa vuosittain järjestettävässä Transportation Research Board of the National Academyssä vuosina 2004 - 2009 julkaistuihin tutkimuksiin. Korjausvelka-termiä käytettiin vain muutamissa tutkituista julkaisuista. Julkaisuissa korjausvelka määriteltiin fyysisen kunnan, rahallisen arvon tai näiden yhdistelmän mukaisesti. Mukana olleiden kohdemaiden ja kirjallisuustutkimuksen lisäksi korjausvelka-termin käyttöä tutkittiin muun muassa sähköpostikyselyllä. Sähköpostikysely lähetettiin seitsemään eri laitokseen tai hallintoon, jotka olivat Australian ARRB, Greater Sudburyn kaupunki Kanadassa, Unkarin KTI, Uuden-Seelannin MWH, Portugalin LNEC, Belgradin yliopisto Serbiassa ja North Dakota Department of Transportation Yhdysvalloissa. [70, s. 107, 112, 115].

ERANET-Backlog -projektin jälkeen korjausvelkaa, korjausvelan määrää ja laskentaa on tutkittu Euroopassa aiempaa enemmän [5][6][26][54][71]. Euroopan lisäksi korjausvelkaa on tutkittu muun muassa Australiassa [27] sekä Yhdysvalloissa [2][69], jossa korjausvelkaa on käsitelty jo ennen ERANET-Backlog -projektin olemassaoloa.

#### 3.5.2 Korjausvelan määrittely ja laskenta Ruotsissa

Merkittävä osa teiden ja katujen korjausvelkalaskentaa koskevista tutkimuksista liittyy Suomen tieverkkoa vastaaviin väyliin ja katujen tutkiminen on jäänyt vähäisempään rooliin. Yksi syy tähän lienee rahoitus, sillä valtioilla ja suurilla hallintoalueilla on kun-

tia paremmat mahdollisuudet käyttää osa budjetistaan korjausvelan tutkimiseen ja määrittämiseen. Sääolosuhteiden ja muiden maantieteellisten vaikutusten sekä rakennetun ympäristön ja infran kannalta Ruotsi on Suomen paras vertailukohde. Ruotsissa on myös tutkittu sekä tieverkon että katujen korjausvelkaa, mikä parantaa vertailtavuutta. Ruotsissa korjausvelkaa vastaava termi on underhållsskuld, joka on suorana käännöksenä kunnossapitovelka [54, s. 27].

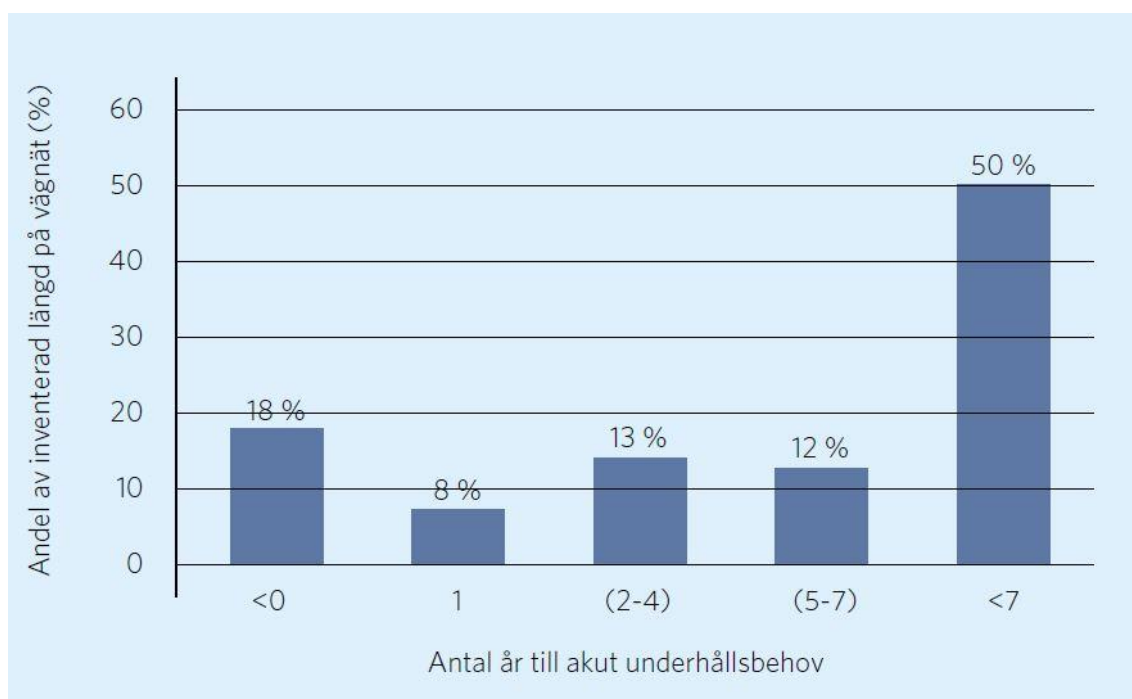
Ruotsissa katujen kunnossapitotarve ja kunnossapitosuunnitelmat vaihtelevat suuresti eri kuntien välillä. Myös kunnossapitoon käytettävät resurssit vaihtelevat paljon. Kunnat ovat ilmoittaneet päällystävänsä keskimäärin noin 2,5 % kaduistaan vuosittain, mikä vastaa asfalttipäällysteille noin 40 vuoden ikää. Ruotsissa tehdyssä selvityksessä [54] tätä on pidetty vahvana osoituksena korjausvelan kasvavasta määrästä. [54, s. 25 - 26].

Vuosien 2008 - 2013 aikana Ruotsissa tehtiin noin 50 kuntotutkimusta, joissa inventointiin katuverkko ja sen kunto yksityiskohtaisesti ja järjestelmällisesti. Näiden tutkimustulosten perusteella on tehty raportti [54], jossa on kuvattu Ruotsin kuntien katuverkon yleinen kuntotaso. Tutkimusmateriaalina oli yli 28 miljoonaa neliometriä mittausaineistoa eri puolilla Ruotsia olevien suurten ja pienten kuntien katuverkoilta. Kuntotutkimuksissa kaduista tarkasteltiin ja havaittiin samoja asioita kuin Suomessakin, eli esimerkiksi päällysten halkeamia, reikiintymistä ja kulumaa. [54, s. 26].

Ruotsin katuverkon korjausvelkaa käsittelevässä raportissa [54] korjausvelka esitetään eri tavalla kuin esimerkiksi Suomessa kehitetyssä korjausvelkalaskimessa. Korjausvelkalaskimessa katujen optimikuntotaso, kuntotasoarvio sekä kertynyt korjausvelka esitetään prosenttilukemana kuvan 40 mukaisesti. Ruotsissa kaduista on ilmoitettu, kuinka nopeasti katujen kunnostustarve on viimeistään ajankohtaista. Ajankohtainen kunnostustarve on jaettu viiteen luokkaan: nolla vuotta, yksi vuosi, kahdesta neljään vuotta, viidestä seitsemään vuotta sekä yli seitsemän vuotta. Väyläpituuksien jakautuminen eri kunnostustarveluokkiin on esitetty kuvassa 41 prosenttiosuuksina. Jos ajankohtainen kunnostustarve on nolla vuotta, voidaan todeta kunnossapito laiminlyödyksi. Tällaisille kaduille olisi pitänyt tehdä jo aiemmin jotain. [54, s. 26 - 28].

Opt. k-taso	Tarkkuus	Man. KT	kt-arvio	korj.v.-%
75	Laajennettu (II)		5 %	70 %
75	Laajennettu (II)		64 %	11 %
90	Laajennettu (II)		69 %	21 %
90	Laajennettu (II)		43 %	47 %
75	Laajennettu (II)		32 %	43 %
90	Laajennettu (II)		47 %	43 %
65	Laajennettu (II)		5 %	60 %
65	Laajennettu (II)		5 %	60 %
65	Laajennettu (II)		5 %	60 %

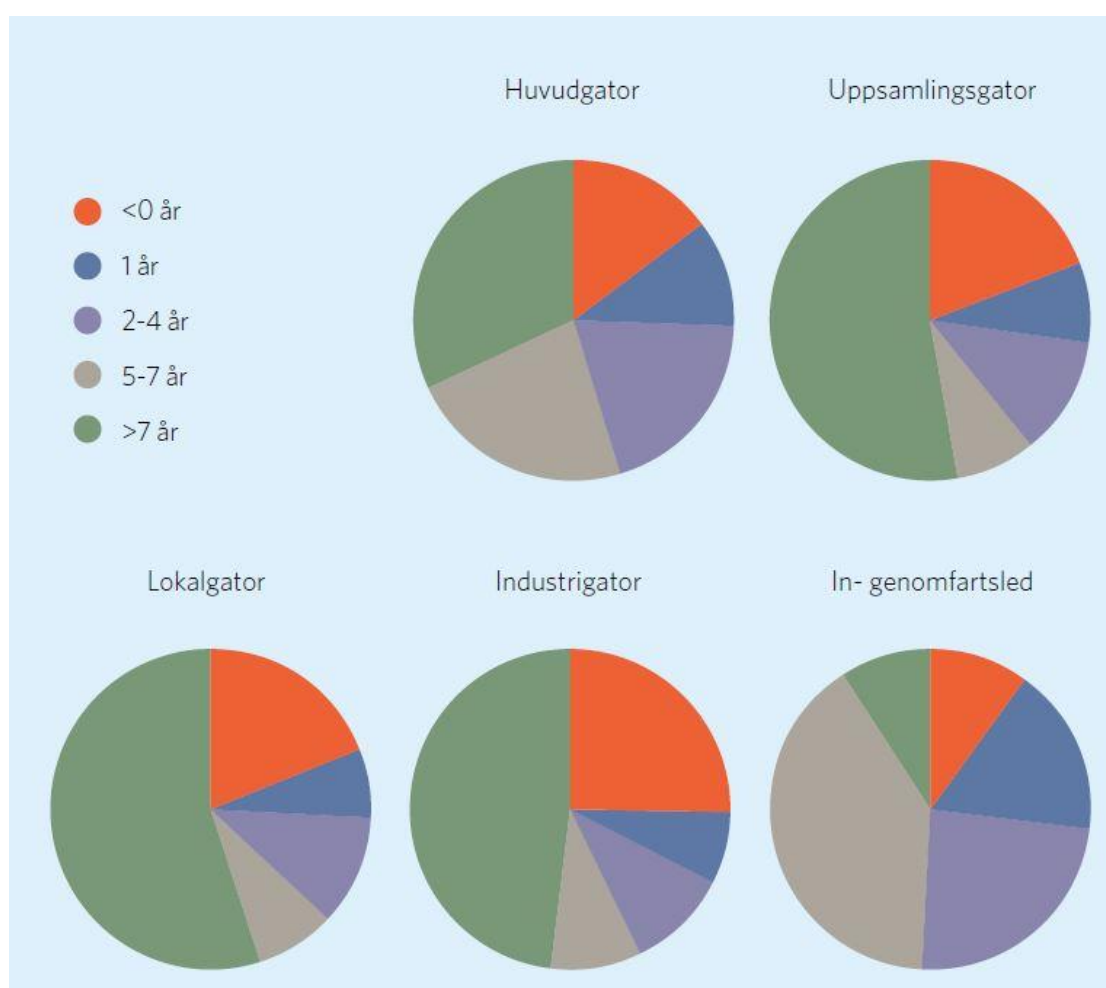
**Kuva 40.** Korjausvelan ja kuntotason esittäminen prosenttilukemana korjausvelkalaskimessa



**Kuva 41.** Katuosuuksien jakautuminen kunnostustarpeen ajankohtaisuusluokittelun mukaisesti Ruotsissa [54, s. 28]

Ruotsissa tehdyn tutkimuksen perusteella katujen kunnostustarve vaihteli huomattavasti eri kuntien välillä ja kunnostustarpeen ajankohtaisuus vaihteli 8 - 35 prosenttiyksikön välillä. Tutkimusten aikana kuitenkin havaittiin, että katujen kunnostustarvetta ja sen vaihtelua ei voida yksiselitteisesti arvioida asukasluvun tai kunnan kunnossapitovastuulla olevan katupinta-alan perusteella. Vaikuttavimmiksi tekijöiksi katujen kunnossapidossa arvioitiin kunnossapidon suunnittelu, käytettävissä oleva budjetti sekä toiminnan pitkäjänteisyys. [54, s. 28 - 29].

Suomen tapaan myös Ruotsissa kaduille on tehty jaottelua kadun tyypin mukaan. Suomessa kadut on jaoteltu kolmeen tyyppiin: pää-, kokooja- ja tonttikatuihin. Tätä jaottelua on käytetty myös korjausvelkalaskimessa. Ruotsissa jaottelu on tarkempaa ja kadut on jaoteltu viiteen tyyppiin: pää-, kokooja-, paikallis- ja teollisuuskatuihin sekä sisään- ja läpiajoväyliin. Kunnostustarpeen ajankohtaisuus eri katutyypeille on esitetty kuvassa 42. Kuvasta nähdään, miten kunnostustarpeen ajankohtaisuus jakaantuu edellä esitetyllä viisiportaisella asteikolla eri katutyypien väleillä. Prosentuaalisesti eniten välittömästi kunnostusta tarvitsevia katuja on teollisuuskaduissa, mutta teollisuuskaduista hieman alle puolet on kuitenkin hyvässä kunnossa ja eivät kaipa kunnostusta seitsemään vuoteen. Sisääntulo- ja läpiajoväylillä välittömästi kunnostusta tarvitsevia katuja on 10 % ja seitsemän vuoden sisään yli 90 % kaduista tulee tarvitsemaan kunnostusta. [54, s. 29 - 31]



**Kuva 42.** Katujen kunnostustarpeen ajankohta Ruotsissa katutyypeittäin [54, s. 30]

Ruotsissa on tutkittu katujen ja teiden lisäksi myös pyöräteiden kunnostustarpeen ajankohtaisuutta. Pyöräteiden kuntotutkimuksia on tehty 23 kunnassa, ja näitä tuloksia on hyödynnetty edellä esitellyssä raportissa [54]. Pyöräteistä yli 60 % tarvitsee kunnossapitoa vasta yli seitsemän vuoden päästä, mutta 19 % pyöräteistä kunnostustarve on ajankohtaista. [54, s. 33 - 34].

## 4. KATUJEN KORJAUSVELKALASKIN

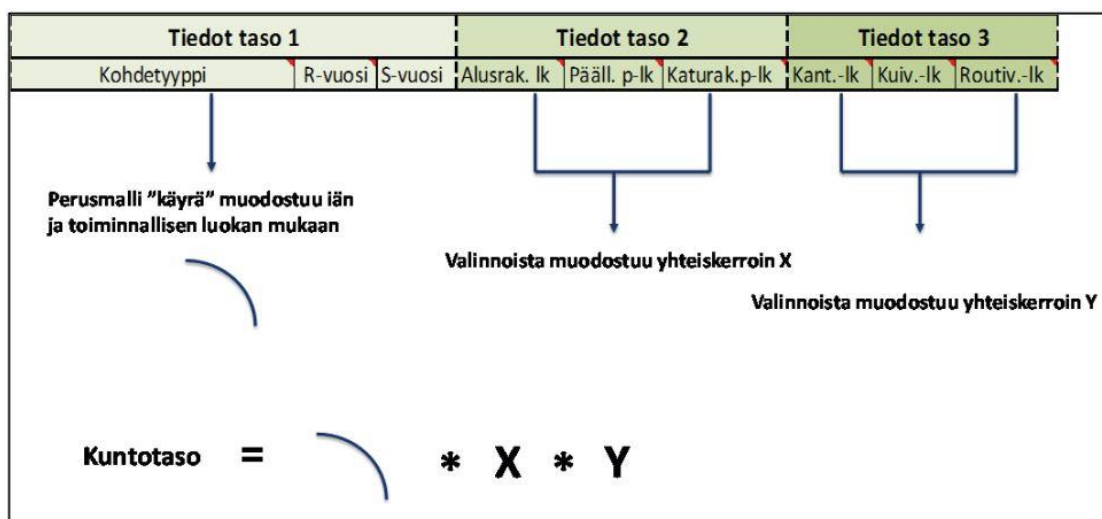
KEHTO-foorumin, Rapal Oy:n ja Suomen Kuntotekniikka Oy:n yhteishankkeena on kehitetty laskin, jolla on mahdollista määrittää teoreettista katu- ja viheralueiden korjausvelkaa. Katualueiden korjausvelan laskentamallit on kehitetty kaduille tehtyjen tutkimusten perusteella, kun taas viheralueiden laskentamallit ovat pääasiassa teoreettisia malleja. Katualueiden laskentamalleja on tarkennettu ja päivitetty laskimen ensimmäisen version julkaisemisen jälkeen, koska alkuperäinen laskinversio antoi usein liian suuria korjausvelkasummia [18, s. 4]. Korjausvelkalaskimen toimintaympäristöksi valittiin hankkeen aikana Excel ohjelman helppouden ja laajan käytettävyyden vuoksi. [46, s. 4]. Korjausvelkalaskinta, sen kehittämistä ja käytöstä on kerrottu lisää Rantasen [46] sekä Kaarlehdon ja Lauksion [18] julkaisuissa ja Raution opinnäytetyössä [48].

### 4.1 Laskentaperiaate

Korjausvelkalaskimen toiminta perustuu kohteesta syötettyihin tietoihin, joiden perusteella lasketaan kohteiden korjausvelkaa. Korjausvelan laskennassa lähtöarvoihin määritetään vuosi, johon korjausvelkasumma halutaan kohdistaa. Laskimella voidaan siis myös laskea korjausvelan kehittymistä vuositasona. Kaduista tarvittavaa tietoa on kuvattu kolmella eri tietotasolla, jotka sisältävät tarkentavia määrittelyjä kaduista. Laskennan tarkkuus riippuu käytettyjen lähtötietojen määrästä. Laskentatarkkuudet ovat suppea, laajennettu ja tarkka. Laskimessa olevat tietotasot on esitetty kuvassa 43. Tietotasolla 1 määritellään kadun kohdetyyppi, eli onko kyseessä pää-, kokooja- vai tonttikatu. Lisäksi tietotasolla 1 määritetään kadun saneeraus- tai rakentamivuosi, jota verrataan lähtötiedoissa syötettyyn laskennan kohdevuoteen. Tietotasolla 2 määritellään kadun alusrakenneluokka sekä päällysteen ja katurakenteen paksuusluokat. Tietotasolla 3 määritellään kadun kantavuus-, kuivatus- ja routivuusluokat. Tietotaso 1 vaikuttaa valittavaan laskentamalliin ja tietotasot 2 ja 3 tarkentavat valittua laskentamallia. Tietotasojen yhteisvaikutus laskentaan on esitetty kuvassa 44.

Tiedot taso 1		Tiedot taso 2		Tiedot taso 3		
Kohdetyyppi	S/R-vuosi	Alusrak. lk	Pääll. p-lk	Katurak.p-lk	Kant.-lk	Kuiv.-lk Routiv.-lk

*Kuva 43. Tietotasot ja tasojen sisältö korjausvelkalaskimessa*



**Kuva 44.** Katujen laskentamallin toimintaperiaate [46, s. 12]

Tietotasolla 1 määritettävät kohdetyyppi ja saneeraus- tai rakentamisvuosi ovat lähes yksiselitteisiä termejä, mutta niidenkin määrittämisessä voi olla haasteita. Saneeraus- tai rakentamisvuosi on laskimessa aina jokin tietty vuosiluku, joka määräytyy tiedossa olevan saneeraus- tai rakentamisvuoden mukaan. Kadun toiminnallinen luokitus määrittelee, millainen katu on kyseessä. Suurten ja pienten kaupunkien ja kuntien välillä voi olla suuria eroja esimerkiksi pää- ja kokoojakatujen välillä. Suuressa kaupungissa oleva kokoojakatu voi vastata mitoitukseltaan ja liikennemäärältään pienen kunnan pääkatuja. Suuren kunnan kokoojakadun leveys ja liikennemäärät saattavat olla jopa suurempia, kuin pienessä kunnassa pääkadulla. Myös yhden kunnan sisällä samassa katuluokassa katujen välillä voi olla huomattavia eroja. Vaikka katurakenteiden mitoitukset tehtäisiin liikennemääräkohtaisesti, niin korjausvelkalaskimessa huomioidaan vain toiminnallinen luokitus. Tällöin täysin erikokoisten katujen korjausvelkalaskentaan käytetään samaa laskentakäyrää, mikä voi vääristää korjausvelkalaskentaa.

Korjausvelkalaskimessa on kolmiportaiset luokittelut tietotasojen 2 ja 3 määrittelyille. Luokittelussa luokka 1 vastaa parasta ja luokka 3 huonointa vaihtoehtoa. Luokittelun poikkeuksena on alusrakenneluokka, joka määritellään Liikenneviraston pohjamaaluokituksen (kuva 9) mukaisesti. Tietotasoilla olevien luokittelujen raja-arvoja ja kuvauksia on esitetty kuvassa 45. Päällysteen ja katurakenteen paksuusluokille on luokittelussa annettu tarkat paksuudet. Myös eri katuluokille on annettu tarkat tavoitekantavuudet. Kuivatusluokan määritelmät ovat sanallisia, mutta ne on määritetty tarkemmin Tiehallinnon ohjeessa [53]. Kantavuus- ja routivuusluokassa eri luokkien välillä ei ole tarkkoja raja-arvoja, joten rajatapauksissa käytettävä luokka tulee määritellä olemassa olevien tietojen perusteella. Tällainen rajatapaus voi olla esimerkiksi kantavuusluokassa hyvän ja riittävän kantavuuden välillä. Lievästi ja erittäin routivan rakenteen raja-arvona on mahdollista käyttää esimerkiksi sallitun laskennallisen routanousun ( $RN_{sall}$ ) arvoa.



Alusrakenneluokka:	Liikenneviraston pohjamaalajiluokitus (A ... µf)
Päällysteen paksuusluokka:	1 - > 100 mm <b>tai</b> ≥ 3 kerrosta 2 - 50 - 100 mm <b>tai</b> 2-kerros 3 - < 50 mm <b>tai</b> 1-kerros
Katurakenteen paksuusluokka:	1 - > 1,5 metriä 2 - 1,0 - 1,5 metriä 3 - < 1,0 metriä
Kantavuusluokka:	Mitoituskantavuuden suhde mitattuun kantavuuteen. Tavoitekantavuudet (MN/m <sup>2</sup> ): pää 350, kokooja 250, asunto 200, KLV 175. 1 - hyvä 2 - riittävä 3 - alimitoitettu
Kuivatusluokka:	Tiehallinnon ohjeen mukaisesti. 1 - Kuivatus toimii 2 - Kuivatuspuutteita 3 - Vakavia kuivatuspuutteita
Rakenteen routivuusluokka:	1 - Ei-routiva rakenne 2 - Lievästi routiva rakenne 3 - Erittäin routiva rakenne

**Kuva 45.** Korjausvelkalaskimen mukainen tietotasomääritelmien luokittelu

Tietotasoille 2 ja 3 syötetyt tiedot lisäävät laskennan tarkkuutta, jos tietotason jokaiselle määrittelylle on annettu arvo. Korjausvelkalaskimen laskentatoiminto edellyttää jokaisen tiettyyn tietotasoon liittyvän arvon määrittämistä, jotta laskenta onnistuu [46, s. 9]. Kuvassa 46 esitetään tietotasoille 2 ja 3 syötettyjen tietojen vaikutuksia käytettävään laskentamalliin ja millaisia kertoimia eri määrittelyt antavat laskimessa. Kuvan yläreunassa on tietotasojen 2 ja 3 muuttujat, kuten esimerkiksi katurakenteen paksuusluokka sekä kuivatusluokka. Jokaisen muuttujan oikealla puolella on määrittelyä vastaava kerroin. Esimerkiksi kuivatusluokan arvolla 2 kuivatusluokan kertoimeksi tulee 0,95 tai katurakenteen paksuusluokan arvolla 3 kertoimeksi tulee 0,92. Taulukosta voidaan tarkastella, millaisia vaikutuksia eri muuttujille annetuilla arvoilla on kokonaislaskentaan ja mitä joidenkin luokkien arvon on ajateltu kuvastavan. Esimerkiksi kantavuusluokan arvolla 2 kertoimeksi tulee 1,00. Tällöin arvo 2 kuvastaa normaalitilannetta, joka ei vaikuta positiivisesti eikä negatiivisesti rakenteeseen.

Alus- rakenne- luokka	Päällyste paksuus- luokka		Katu- rakenne paksuuslk		Kanta- vuus- luokka		Kuivatus- luokka		Kadun rou- tivuus- luokka	
	Kerroin	Kerroin	Kerroin	Kerroin	Kerroin	Kerroin	Kerroin	Kerroin	Kerroin	Kerroin
A	1,15	1	1,2	1	1,16	1	1,09	1	1,0	1,12
B	1,08	2	1	2	1,00	2	1,00	2	0,95	0,94
C	1,03	3	0,89	3	0,92	3	0,89	3	0,88	0,88
D	0,98									
µE	0,92									
µF	0,88									
µG	0,84									
µH	0,80									
µI	0,78									

**Kuva 46.** Tietotasojen 2 ja 3 määrittelyjen tarkennuskertoimet [46, s. 14]

Kuvan 46 taulukosta on mahdollista tarkastella, millaisia painotuksia eri parametreille on annettu. Esimerkiksi kuivatusluokan kerroin on suurimmillaan 1,00, jolloin kuivatuksella ei voi olla rakenteen kestävyyttä parantavia vaikutuksia. Sen sijaan routivuusluokalla kerroin ei ole koskaan 1,00. Täten routivuusluokan vaikutukset eivät ole koskaan neutraaleita, vaan ne ovat aina joko positiivisia tai negatiivisia. Päällysteen paksuusluokalla on suurin positiivinen vaikutus kertoimiin, jos luokitukseksi tulee 1. Tällöin kerroin on 1,20, joka on suurin yksittäinen luokitteluista tuleva kerroin. Kuivatusluokalla kertoimien vaihteluväli on 0,88 - 1,00, joten esimerkiksi päällysteen paksuusluokalla on paljon suurempi vaikutus kuin kuivatusluokalla.

Kuvassa 47 on näkymä korjausvelkalaskimesta, jossa on esitetty millaisia kokonaisker-toimia eri tietotasojen määritelmät antavat laskentamalleihin. Kertoimet-sarakkeessa on esitetty kokonaiskerroin laajennetulle ja tarkimmalle laskelmalle. Laajennetussa laskel-massa hyödynnetään tietotasojen 1 ja 2 tietoja ja tarkimmassa laskelmassa hyödynne-tään kaikkia tietotasoja.

Tiedot taso 1		Tiedot taso 2			Tiedot taso 3			Kertoimet	
Kohdetyyppi	S/R-vuosi	Alusrak. lk	Pääll. p-lk	Katurak.p-lk	Kant.-lk	Kuiv.-lk	Routiv.-lk	Laajen.	Tarkin
Kokoojakatu	1975	μG	1	2	1	1	2	0.966	0.990
Kokoojakatu	1998	μF	1	2	2	1	3	1.012	0.891
Tonttikatu	1995	A	2	3	1	2	1	1.058	1.227
Pääkatu	1995	μE	1	2	2	3	1	1.058	1.043
Pääkatu	1988	μE	1	2	3	1	2	1.058	0.885
Tonttikatu	1990	μE	2	3	2	2	2	0.846	0.756

**Kuva 47.** Tietotasojen määritelmien vaikutukset laskentakertoimeen

Korjausvelkalaskimessa tarvitaan myös tieto kadun euromääräisestä jälleenhankintahin-nasta. Jälleenhankintahinnan ja katukohtaisen korjausvelkaprosentin avulla laskimella voidaan laskea euromääräinen korjausvelka. Jälleenhankintahinta on mahdollista laskea esimerkiksi Rapal Oy:n Fore-kustannuslaskentaohjelmiston Hola-osatuotteella, jolla voi tehdä hankeosalaskentoja. Esimerkiksi Vaasan kaupungissa korjausvelkalaskimella teh-dyssä korjausvelkalaskennassa katujen jälleenhankintahinta määritettiin Holalla [48, s. 30].

Korjausvelkalaskimella on mahdollista laskea katujen jälleenhankintahinta myös ilman erillistä kustannuslaskentaohjelmistoa. Laskimeen on määriteltä hintatietoja maakunnit-tain sekä oletusmaaperäjakauma. Laskimessa on mahdollista määrittää myös omat ole-tusarvot maaperäjakaumalle tai tarkempi katukohtainen maaperäjakauma, jos se on tie-dossa. Laskin käyttää neliöhintana joko käyttäjän määrittämää tai maakuntakohtaisen hintatiedon ja maaperäjakauman perusteella laskettua arvoa. Kohteen jälleenhankinta-hinta muodostuu neliö hinnasta ja kokonaispinta-alasta.

Kuvassa 48 on esitetty lähtöarvoihin syötettävät lähtötiedot, joita ovat maakunta, käytet-tävä hinalähde, oletusmaaperäjakauma, manuaalisesti määriteltävät neliöhinnat eri ka-tu- ja viheraluetyypeille sekä oletuksena käytettävät optimikuntotasot. Hinalähteenä on

mahdollista käyttää maakunnan hintatietoa ja oletusmaaperäjakautamaa, maakunnan hintatietoa ja käyttäjän määrittämää maaperäjakautamaa tai käyttäjän määrittämiä neliöhintoja. Syötettyjä tietoja käytetään katujen jälleenhankintahinnan määrittämisessä, jos kaduille ei määritetä jälleenhankintahintaa muilla keinoilla. Kaduille tulevia optimikuntotasoja on mahdollista muuttaa manuaalisesti oletusarvosta poikkeavaksi, jos kohteella on oletustasoa parempi tai huonompi optimikuntotaso. Esimerkiksi kokoojakatu, jolla on suuret liikennemäärät, voidaan pitää tavanomaista paremmassa kunnossa, jolloin korjausvelkalaskimessa voidaan manuaalisesti määrittää kadun optimikuntotaso.

**Jälleenhankinnan neliöhinnat / oletusarvoiset optimikuntotasot**

**Hintalähde** Maakunnan hintatieto + oletusmaaperäjakautama **Maakunta** Pohjanmaa

MAKU 107,6 (2010=100)

Maakunnan hintatieto + oletusmaaperäjakautama  
Maakunnan hintatieto + käyttäjän määrit. maaperäjakautama  
Omat neliöhinnat

	Routimaton	Routiva	Kallio	Pehmeikko (alle 3m)	Pehmeikko (yli 3m)
	0.35	0.25	0.10	0.15	0.15
<b>Maaperäjakautama</b>	<b>0.10</b>	<b>0.20</b>	<b>0.20</b>	<b>0.10</b>	<b>0.40</b>

OKI

Kohdetyyppi	Omaisuslaji	Manuaalinen hinta	Hinta oletusjakaumasta	Hinta käyttäjän jakaumasta	Optimikuntotaso
	Pääkatu	130	80	95	90
	Kokoojakatu	125	73	89	75
	Tonttikatu	120	55	74	65
	A1 Edustuspuisto	70			75
	A2 Käyttöpuisto	55			75
	A3 Käyttö- ja suojaviheralue	35			65
	A3 + puu	45			50

*Kuva 48. Lähtöarvojen syöttö korjausvelkalaskimeen*

## 4.2 Laskentatulokset

### 4.2.1 Raportointi

Korjausvelkalaskimessa laskentatulokset esitetään Raportti-välilehdellä. Laskentatuloksissa eritellään katutyypeittäin katujen uudisarvot eli jälleenhankintahinnat, korjausvelan euromääräiset summat sekä optimikuntotasojen mukaisesti jaotellut keskiluvut kuntotasoarviolle ja korjausvelkaprosentille. Tuloksissa on myös kokonaissummat kaikkien katujen uudisarvolle sekä korjausvelan kokonaismäärälle. Yhdistettyjen laskentatulosten esittämistapa on esitetty kuvassa 49. Kuvassa esitetyt laskentatulokset ovat 15:ltä Vaasan kadulta, jotka on valittu tutkimuskohteiksi tässä diplomityössä ja joiden valintaperusteista kerrotaan tarkemmin luvussa 5. Raportti-välilehdellä on myös tarkemmat katu-kohtaiset laskentatulokset, jotka on esitetty liitteessä A.

RAPORTTOINTI									
Kohdetyyppi	Uudisarvo	Arvopainotetut keskiluvut			kv-summa				
		opt. k-taso	kt-arvio	korj.v.-%					
Pääkatu	1 951 742 €	90	49	41 %	791 095 €				
Kokoojakatu	4 419 228 €	75	30	45 %	2 008 680 €				
Tonttikatu	1 896 794 €	65	9	56 %	1 061 237 €				
A1 Edustuspuisto	-	-	-	-	-				
A2 Käyttöpuisto	-	-	-	-	-				
A3 Käyttö- ja suojaviheralue	-	-	-	-	-				
A3 + puu	-	-	-	-	-				
Yhteensä	8 267 764 €				3 861 012 €				
Kohde	Toiminnallinen lk.	Omistustieto	Jälleenhankinta (€)	Opt. k-taso	Tarkkuus	Man. KT	kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka

**Kuva 49. Korjausvelkalaskimen Raportti-välilehti**

Raportti-välilehdellä esitetään katukohtaiset tiedot kuten kadun nimi, toiminnallinen luokka, kaupunginosa, jälleenhankintahinta sekä kadun optimikuntotaso. Raportti-välilehdellä päätetään, käytetäänkö kadun kuntotason laskennassa suppeaa, laajennettua vai tarkkaa laskentatarkkuutta. Katujen kuntotaso on mahdollista määrittää myös manuaalisesti. Kaduista ilmoitetaan raportilla kadun korjausvelkaprosentti, joka on optimikuntotaso vähennettynä kuntotasoarviolla. Korjausvelkaprosentti on nolla, jos kuntotaso on optimikuntotasoa suurempi.

Katukohtainen euromääräinen korjausvelkasumma saadaan kertomalla jälleenhankintahinta korjausvelkaprosentilla. Korjausvelkalaskimesta ei saada tietoa siitä, kuinka paljon maksaisi kadun korjaaminen uudenveroiseksi tai johonkin haluttuun kuntotasoon. Tämä on kuitenkin mahdollista laskea halutun kuntotason, kuntotasoarvion sekä jälleenhankintahinnan avulla käyttäen kaavaa  $\text{Korjauskustannusarvio} = (\text{Haluttu kuntotaso} - \text{Kuntotasoarvio}) * \text{Jälleenhankintahinta}$ . Kaavassa haluttu kuntotaso ja kuntotasoarvio pitää ilmoittaa desimaalilukuna, jotta korjauskustannusarviolaskelmasta saadaan oikea tulos. Katusaneerauksissa kadun haluttu kuntotaso on uuden veroinen. Koska korjausvelkalaskin laskee vain kertyneen korjausvelan määrän, niin korjauskustannusarvio on aina suurempi kuin laskimen ilmoittama korjausvelkasumma.

#### 4.2.2 Laskentatarkkuuden vaikutus korjausvelan määrään

Korjausvelkalaskimessa laskentatarkkuutta muuttamalla voidaan vaikuttaa laskentatuloksiin. Muita korjausvelan määrään laskimessa vaikuttavia tekijöitä ovat optimikuntotason muuttaminen sekä manuaalinen kuntotason määrittäminen. Kuvassa 50 on esitetty laskentatarkkuuden, optimikuntotason muutosten ja manuaalisen korjausvelan määrittämisen vaikutuksia korjausvelkalaskimen tuloksiin. Kuvan vasemmassa reunassa on alkuperäinen laskenta oikeilla optimikuntotasoilla ja laskentatarkkuus on olemassa olevien tietojen mukainen. Keskellä kuvaa laskenta on tehty suppealla laskentatarkkuudella, eli laskennassa on käytetty ainoastaan tietotason 1 tietoja. Kuvasta nähdään, että kuntotasoarviossa ja korjausvelan määrässä on pieniä eroja laskentatarkkuudesta riippuen. Kuvan oikeassa reunassa olevaan laskentaan on muutettu optimikuntotasoja sekä kolmessa kohdassa on annettu manuaalinen kuntotaso. Kuten kuvasta havaitaan, optimikuntotason muutos ei vaikuta kuntotasoarvioon, vaan ainoastaan korjausvelkaprosenttiin. Manuaalisesti annettua kuntotasoa käytetään laskimessa kuntotasoarviona, jota verrataan optimikuntotasoon ja josta määritetään korjausvelan osuus.

Opt. k-taso	Tarkkuus	Man. KT	kt-arvio	korj.v.-%	Opt. k-taso	Tarkkuus	Man. KT	kt-arvio	korj.v.-%	Opt. k-taso	Tarkkuus	Man. KT	kt-arvio	korj.v.-%
75	Laajennettu (II)		5 %	70 %	75	Suppea (I)		5 %	70 %	75	Laajennettu (II)	15.0 %	15 %	60 %
75	Laajennettu (II)		64 %	11 %	75	Suppea (I)		63 %	12 %	90	Laajennettu (II)		64 %	26 %
90	Laajennettu (II)		69 %	21 %	90	Suppea (I)		65 %	25 %	90	Laajennettu (II)	50.0 %	50 %	40 %
90	Laajennettu (II)		43 %	47 %	90	Suppea (I)		41 %	49 %	75	Laajennettu (II)		43 %	32 %
75	Laajennettu (II)		32 %	43 %	75	Suppea (I)		31 %	44 %	90	Laajennettu (II)		32 %	58 %
90	Laajennettu (II)		47 %	43 %	90	Suppea (I)		44 %	46 %	75	Laajennettu (II)		47 %	28 %
65	Laajennettu (II)		5 %	60 %	65	Suppea (I)		6 %	59 %	90	Laajennettu (II)		5 %	85 %
65	Laajennettu (II)		5 %	60 %	65	Suppea (I)		6 %	59 %	75	Laajennettu (II)		5 %	70 %
65	Laajennettu (II)		5 %	60 %	65	Suppea (I)		6 %	59 %	65	Laajennettu (II)	15.0 %	15 %	50 %
ALKUPERÄINEN					LASKENTATARKKUUS SUPPEA					OPTIMIKUNTOTASON MUUTOKSIA				

**Kuva 50.** Laskentatarkkuuden ja optimikuntotasomuutosten vaikutuksia korjausvelkalaskimessa

Yhtä katua tarkasteltaessa korjausvelan määrä laajennetun ja suppean laskentatarkkuuden välillä ei yleensä vaihtelee montaa prosenttiyksikköä. Suurilla omaisuuserillä, kuten pitkällä kaduilla, euromääräinen ero voi kuitenkin olla useita tuhansia euroja laskentatarkkuudesta riippuen. Suuria omaisuuserämääriä laskeessa muutamien prosenttiyksiköiden muutokset jokaisen omaisuuserän laskentatuloksessa voivat vaikuttaa merkittävästi korjausvelka-arvion kokonaismäärään. Näin ollen arvot tulisi määrittää mahdollisimman tarkasti.

### 4.3 Lähtötietojen hankinta

Korjausvelkalaskimen laskentaan tarvittavia lähtötietoja voidaan hankkia olemassa olevista suunnitelmista, rakentamisen aikaisesta laatudokumentoinnista, kohteista tehtävillä tutkimuksilla tai esimerkiksi haastattelemalla ihmisiä. Suunnitelmatietojen dokumentoinnin taso vaihtelee paljon: dokumentointi voi olla tehty hyvin tarkasti ja kattavasti tai se voi olla hyvin heikolla tasolla, jolloin asiat ovat vain jonkun henkilön päässä [48, s. 25, 31].

#### 4.3.1 Laskimen tietotaso 1

Korjausvelkalaskimen tietotasolla 1 tarvittavat tiedot ovat kohteen saneeraus- tai rakentamisvuosi sekä kohdetyyppi, eli onko katu pää-, kokooja- vai tonttikatu. Saneeraus- tai rakentamisvuoden määrittäminen on helppoa, jos se on dokumentoitu tarkasti esimerkiksi arkistoon. Jos oikeaa saneeraus- tai rakentamisvuotta ei ole tiedossa, suunnitelmien päiväyksestä on mahdollista päästä lähelle oikeaa rakentamisvuotta. Jos suunnitelmia tai muita tietoja ei ole olemassa, katujen rakentamisvuoden voi arvioida esimerkiksi vanhojen ilmakuvien perusteella, jos sellaisia on käytössä. Ilmakuvia hyödynnettiin muun muassa Vaasan kaupungin katujen korjausvelkalaskelman lähtötietoja määritettäessä [48, s. 25].

Katujen saneerausvuoden määrittämisessä hankaluuksia voi aiheuttaa kadulle tehdyn saneerauksen laajuus, jos vain osa kadusta saneerataan. Tällöin katu pitäisi jaotella useampaan osaan laskennan oikeellisuuden varmistamiseksi. Kadun saneeraus voi olla esimerkiksi uudelleen päällystys, päällystys ja rakenteiden osittainen uusiminen tai ko-

ko rakenteen massanvaihto. Kaarlehdon ja Lauksion mukaan korjausvelkalaskimessa uudelleenpäällystetty katu oletetaan saneeratuksi kaduksi. Pelkällä päällystyksellä ei kuitenkaan saada katu täysin uutta vastaavaan kuntoon, mikä voi aiheuttaa eroja todellisen tilanteen ja laskentatulosten välille. Laskennan oikeellisuuden parantamiseksi olisiikin mahdollista jakaa kuntotasomallit kahteen eri osamalliin eli päällysteisiin ja rakennekerroksiin. Kahta erillistä osamallia ei kuitenkaan kehitetty 2017 päättyneen projektin aikana, koska saadut toteumatiedot eivät olleet riittäviä tarvittavien mallien muodostamiseen. [18, s. 25 - 26].

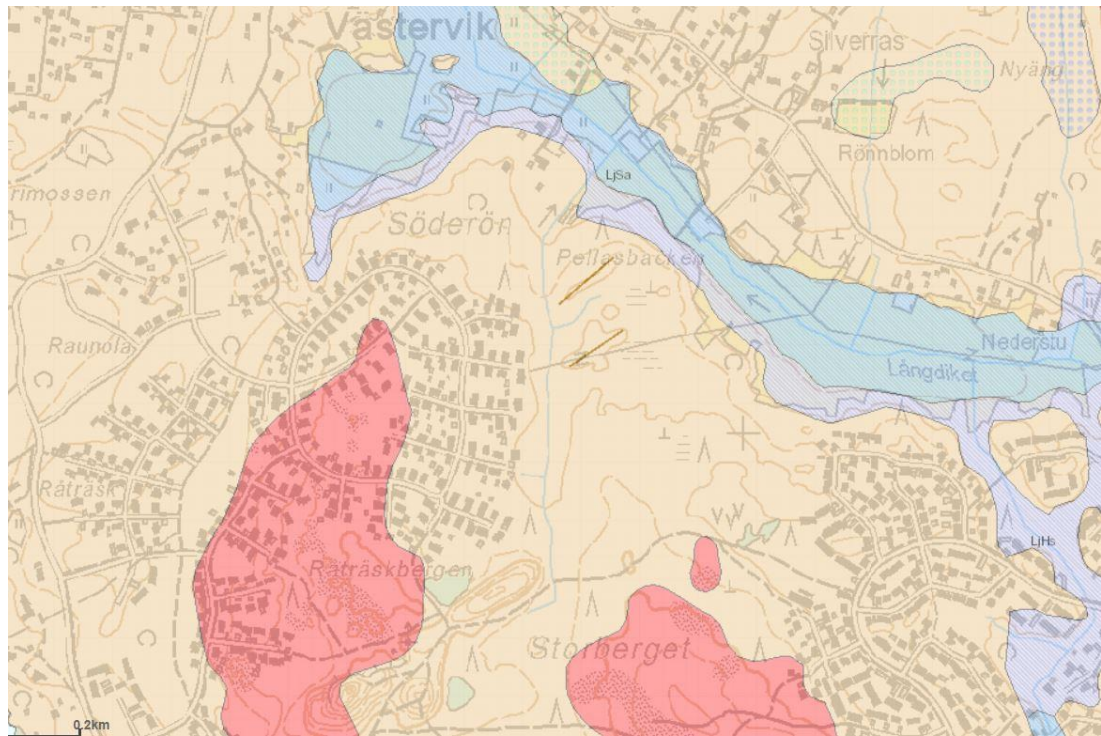
Kaupungeilla on olemassa katujen luokitukset tehtynä, joita voidaan käyttää tietotasolla 1 tarvittavaan katujen kohdetyypin määrittelyyn. Suurin haaste kohdetyypin määrittämisessä ovat pienet ja suuret kokoojakadut tai teollisuutta palvelevat kadut. Kokoojakaduilla haasteena on kadut, jotka voisivat olla kokonsa puolesta pää- tai tonttikatuja. Teollisuuskadut voivat olla luokitukseltaan tonttikatuja, mutta tällaisilla kaduilla kuorimitukset voivat olla suurempia kuin tavanomaisilla tonttikaduilla. Tällaisten katujen kohdetyypin määrittelyt vaikuttavat katujen optimikuntotasoon ja täten korjausvelkalaskennan suuruuteen.

#### **4.3.2 Laskimen tietotaso 2**

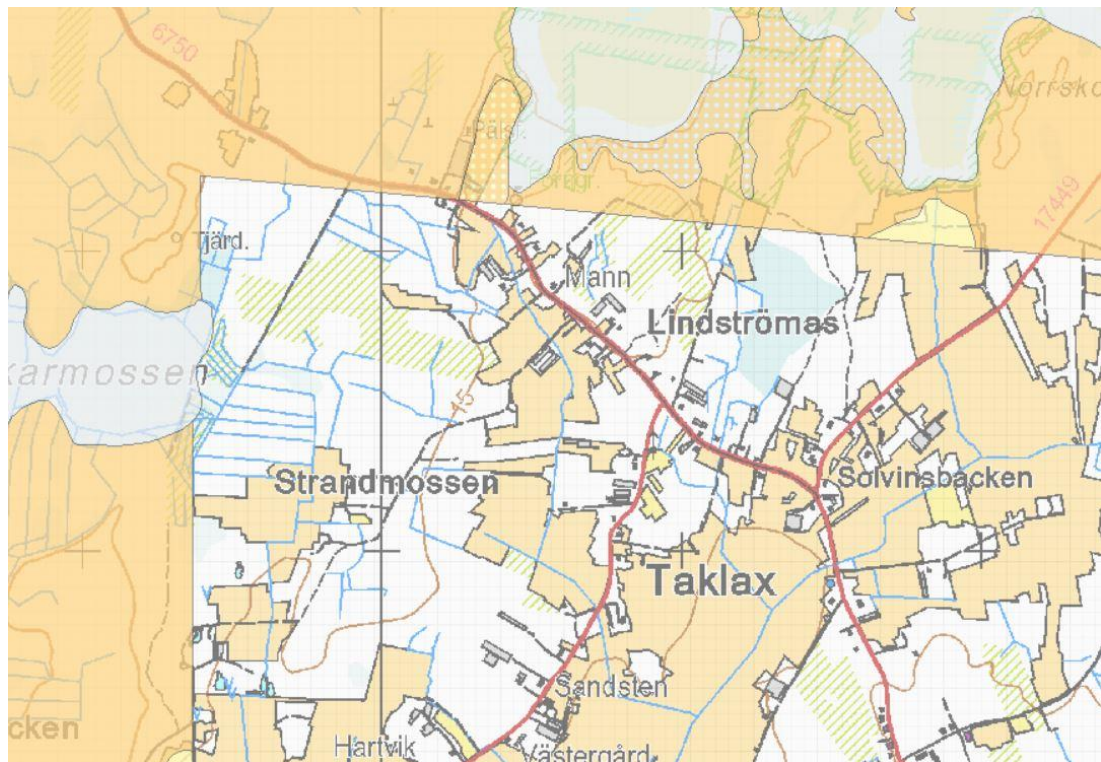
Korjausvelkalaskimen tietotasolla 2 tarvittavat lähtötiedot ovat alusrakenneluokka, päällysteen paksuus sekä katurakenteen paksuus. Pohjamaa ja alusrakenneluokka saattavat selvitä suunnitelmakuvista, jos kohteessa on tehty kairauksia. Useimmiten katujen suunnittelun aikana tehdään kairauksia, jotta saadaan tehtyä oikeat suunnitelmaratkaisut. Päällysteen ja rakenteen paksuudet ilmenevät yleensä rakennussuunnitelmista. Suunnitelman mukaiset kerrokset eivät kuitenkaan välttämättä vastaa todellisuutta, jos rakentamisen aikana on päädytty suunnitelmista poikkeaviin ratkaisuihin.

Kairaukset ovat tarkin keino alusrakenneluokan ja pohjamaan määrittämiseen. Vaasan kaupungilla on kairaustuloksia kaupungin maaperästä, joiden perusteella korjausvelkalaskimen maaperätiedot on täytetty. Lisäksi kaupungilla on olemassa myös oma maaperäkartta. Maaperätietojen määrittäminen ja olemassa olevan tiedon saatavuus on kuitenkin aina kuntakohtaista. Jos kaduista ei ole saatavilla aiempaa pohjamaatietoa, alusrakenneluokan määrittämisessä voidaan hyödyntää Geologian Tutkimuskeskuksen (GTK) Maankamara-karttapalvelua, jossa on esitetty maaperätietoja. Kuvassa 51 on esitetty näkymä Maankamara-karttapalvelusta. Kuvassa punaiset alueet kuvastavat kalliota, vaaleanruskeat alueet hiekkamoreenia, vaalean vihreät alueet liejusavea ja vaalean violetit alueet liejuhiesua. GTK:n karttapalvelussa kaikilta alueilta ei kuitenkaan ole tarkkaa maaperätietoa. Tällainen tilanne on esitetty kuvassa 52, jossa vain osassa karttapohjasta on tarkemmat maaperätiedot.





**Kuva 51.** Maaperätietoja Vaasasta [10]



**Kuva 52.** Maaperätietoja Korsnäsistä [10]

Valmiin rakenteen alusrakenneluokan, päällysteen paksuuden ja rakenteen paksuuden määrittäminen on mahdollista tutkimusten avulla. Maatutkauksella voidaan tehdä pohjamaatutkimuksia sekä selvittää päällysteen paksuutta ja rakennekerrosrajoja [42, s. 12]. Maatutkauksella voidaan siis selvittää kaikki tietotasoon 2 tarvittavat lähtötiedot. Mene-

telmä on lisäksi nopea ja ainetta rikkomaton. Tutkimuksesta saatavien tietojen avulla korjausvelkalaskimeen voidaan määrittää päällysteen ja rakenteen paksuusluokat ja alusrakenneluokka.

Kaikki kolme lähtötietoa on mahdollista selvittää myös koekuopilla. Koekuopalla saadaan tarkka tieto pistemäisen kohteen päällysteestä, rakennekerroksista sekä rakenteen alla olevasta pohjamaasta. Koekuoppa on kuitenkin rakennetta rikkova tutkimusmenetelmä, kuopan kohta jää näkymään katuun ja koekuopan tekemiseen tarvitaan kaivinkone. Lisäksi katurakenteissa saattaa olla vaihteluja, jolloin yksi koekuoppa ei välttämättä anna kattavaa tietoa koko kadun alueelta. Alusrakenneluokka, päällysteen paksuus ja katurakenteen paksuus on mahdollista selvittää myös erilaisilla kairauksilla ja näytteenotoilla. Tällaiset tutkimusmenetelmät antavat pistemäistä tietoa ja tutkimusten tekeminen on hitaampaa kuin esimerkiksi maatutkaluotauksilla, eli koekuoppatutkimusten tekemiseen kuluu enemmän aikaa kuin joillain vaihtoehtoisilla menetelmillä.

### 4.3.3 Laskimen tietotaso 3

Korjausvelkalaskimen tietotasolla 3 tarvittavat lähtötiedot ovat kantavuus-, kuivatus- sekä routivuusluokka. Korjausvelkalaskimen ohjeessa on annettu eri katuluokille selkeät tavoitekantavuusarvot, jotka ovat pääkadulla 350 MPa, kokoojakadulla 250 MPa, tonttikadulla 200 MPa ja jalankulku- ja pyörävyylillä 175 MPa. Kantavuusluokkien välille ei ole annettu tarkkoja kantavuusarvoja, vaan ne on määritelty sanallisesti luokkiin hyvä, riittävä ja alimitoitettu. Kantavuusluokkaa on mahdollista arvioida maastokäynneillä ja tarkastelemalla kadun kuntoa. Näköhavaintoon perustuvalla määrittelyllä on kuitenkin mahdollista havaita vain selkeät kantavuuspuutteet ja rakenteen alimitoitettu kantavuus. Erottelua hyvän ja riittävän kantavuuden välillä on haasteellista tehdä pelkkiin näköhavaintoihin perustuen.

Kantavuutta voidaan tutkia levykuormituskokeella sekä pudotuspainolaitteella, jotka antavat tarkat mittaustulokset kantavuudesta. Menetelmistä pudotuspainolaite on nopeampi ja aiheuttaa vähemmän häiriötä muulle liikenteelle. Kantavuutta voidaan mitata myös TSD-mittauksella, joka ei kuitenkaan ole vielä yleinen mittaustapa Suomessa. TSD-menetelmä jääneekin vähäiselle käytölle katualueilla jatkossakin. TSD-mittauksissa mittaussopeuden tulisi mielellään olla yli 60 km/h, jolloin pinnan taipuma-aika ja pohjamaan muodonmuutosominaisuudet ovat suhteellisen lineaarisia ja mittaustulokset paranevat [31, s. 52, 116].

Tietotasolla 3 tarvittava rakenteen kuivatusluokka määritellään Tiehallinnon ohjeen [53] mukaisesti. Kuivatusluokkien määrittelyt ovat seuraavat: kuivatus toimii, alueella on kuivatuspuutteita ja alueella on vakavia kuivatuspuutteita. Kuivatuksen toimivuutta voidaan tutkia rakenteen pinnasta PTM-mittauksilla sekä laserkeilauksella. Mittausten yhteydessä tehtävällä videokuvauksella avulla voidaan tarkentaa mittaustulosten tulkintaa. PTM-mittauksilla kaduista saadaan selville sivukaltevuus ja uraisuus. Jos mittauksista



havaitaan, että kadulla ei ole kaltevuutta tai vesiurat ovat hyvin syvät, voidaan päätellä, että kuivatus ei toimi hyvin. Laserkeilauksella kadun pinnasta saadaan tarkempi tasomainen mittausta, josta on mahdollista havainnoida lammikoitumiskohdat, mahdolliset kaltevuuspuutteet sekä reunakivellisessä poikkileikkauksessa kaivojen sijainnin oikeellisuus kadun pinnantasaukseen nähden. Mittauksista havaitaan myös mahdolliset liian korkeat reunapalteet, jotka estävät veden virtaamisen kadulta ojaan. Pintakuivatuksen lisäksi syväkuivatus on oleellinen asia rakenteen toimivuuden kannalta. Syväkuivatuksen toimivuutta ja rakenteissa olevaa kosteuden määrää on mahdollista tarkastella muun muassa maatulokkimuksilla.

Kuivatusluokkaa on mahdollista arvioida myös maastokäynneillä sateiden jälkeen. Silmämääräisessä tarkastelussa ilmenevät kadulle syntyvät lammikot ja mahdolliset kaivojen väärät sijainnit eli tilanteet, missä vesi jää seisomaan kaivottomaan kohtaan. Maastokäynnillä tai videokuvasta tehdyllä silmämääräisellä tarkastelulla on mahdollista havaita myös kuivatuksen toimivuuteen vaikuttavat korkeat reunapalteet, tukkeutuneet rummut sekä ojassa olevan kasvillisuuden määrä. Tiehallinnon ohjeessa [53] on määritetty, miten kuivatusluokat määräytyvät. Tiehallinnon ohjeet on kuitenkin tehty teille, joten ohjeessa esitetyt tapaukset ovat hieman erilaisia kuin katualueilla. Katualueilla kuivatus hoidetaan ojilla tai kaivoilla ja katurakenne on lähes aina lähellä ympäröivän maaston tasoa. Tiealueilla on harvoin kaivoja ja tierakenne kulkee usein penkereellä tai leikkauksessa katurakenteen ollessa lähellä nykyistä maan pintaa. Tämän seurauksena tie- ja katurakenteita ei ole aina mahdollista kuivattaa täysin samoilla periaatteilla.

Routivuusluokan määrittelyt korjausvelkalaskimessa ovat ei-routiva rakenne, lievästi routiva rakenne sekä erittäin routiva rakenne. Ei-routiva rakenne voidaan määrittää helposti, koska rakenteen täytyy olla täysin routimaton. Laskimessa ei ole määritetty raja-arvoja lievästi ja erittäin routiville rakenteille. Lievästi ja erittäin routivan rakenteen erona on mahdollista käyttää sallitun laskennallisen routanousun arvoa, jotka ovat InfraRYLin [16] mukaisesti 75 millimetriä pääkaduilla ja 100 millimetriä tonttikaduilla. Tällöin  $RN_{sall}$ -arvoa pienemällä routanousulla rakenne olisi lievästi routiva rakenne ja suuremmalla routanousulla erittäin routiva rakenne.

Vaihtoehtoisesti lievän ja erittäin routivan rakenteen jaotteluun voidaan asettaa jokin vakiosuuruinen raja-arvo, esimerkiksi 50 millimetriä. Raja-arvoa suuremmalla routanousulla rakenne olisi erittäin routiva ja pienemällä lievästi routiva. Tällöin rakenne voisi olla erittäin routiva, vaikka routanousun suuruus ei ylitä rakenteen sallitun routanousun rajaa. Routivuuden määrittäminen  $RN_{sall}$ -arvon avulla ei ole yleisesti hyväksytty määrittelykeino, vaan tässä esitetty vaihtoehto routivuusluokan määrittämiselle. Routivuusluokan arvioinnissa tulee routanousun suuruuden lisäksi huomioida routanousun taajuuksuus katurakenteissa. Jos rakenteen routiminen on epätasaista, voidaan routivuusluokkaa perustellusti heikentää.

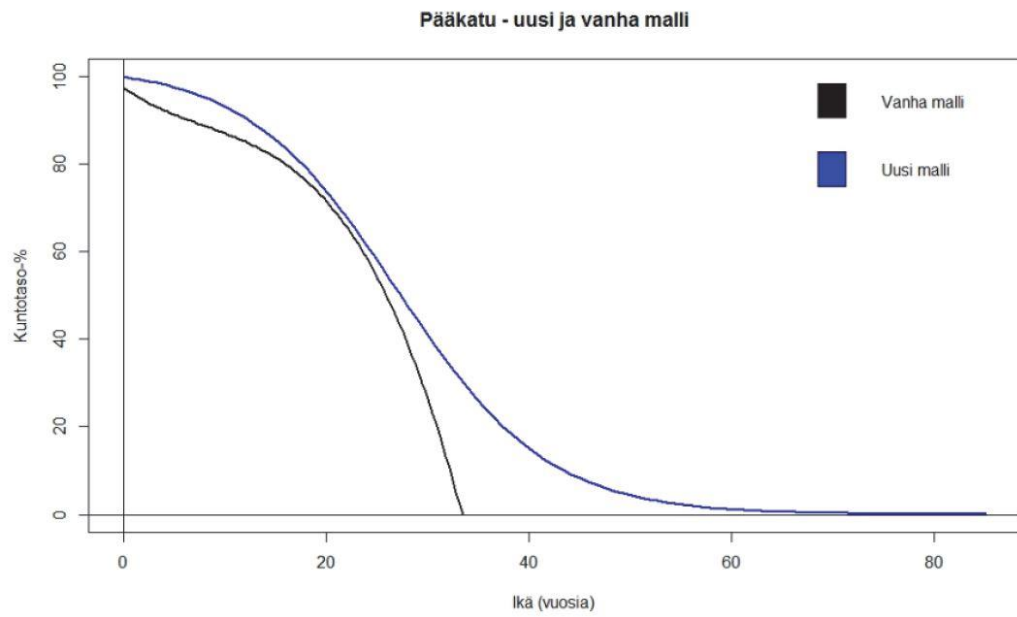
Routivuutta voidaan mitata rakenteesta maatutkalla sekä laserkeilauksella. Talvella tehdyissä maatutkamittauksissa on mahdollista havainnoida routaraja [42, s. 17]. Routimattomilla rakenteilla ei ole näkyvissä routarajaa tai routanousuja. Talvella tai loppukeväästä roudassa olevasta rakenteesta sekä kesällä sulasta rakenteesta tehdyillä laserkeilausmittauksilla on myös mahdollista tutkia rakenteen routanousua. Mittausten erotuksesta on mahdollista laskea rakenteen routanousu, josta voidaan määrittää rakenteen routivuusluokka korjausvelkalaskimeen. Routanousua ja routivuutta on mahdollista tutkia maatutkauksen ja laserkeilauksen lisäksi esimerkiksi rakennekerrosmateriaaleista otetuista näytteistä. Routanousua on mahdollista arvioida myös laskennallisella routanousulla käyttäen rakennekerrosmateriaalien ja kerrospaksuuksien tietoja.

## **4.4 Laskimen uusi versio**

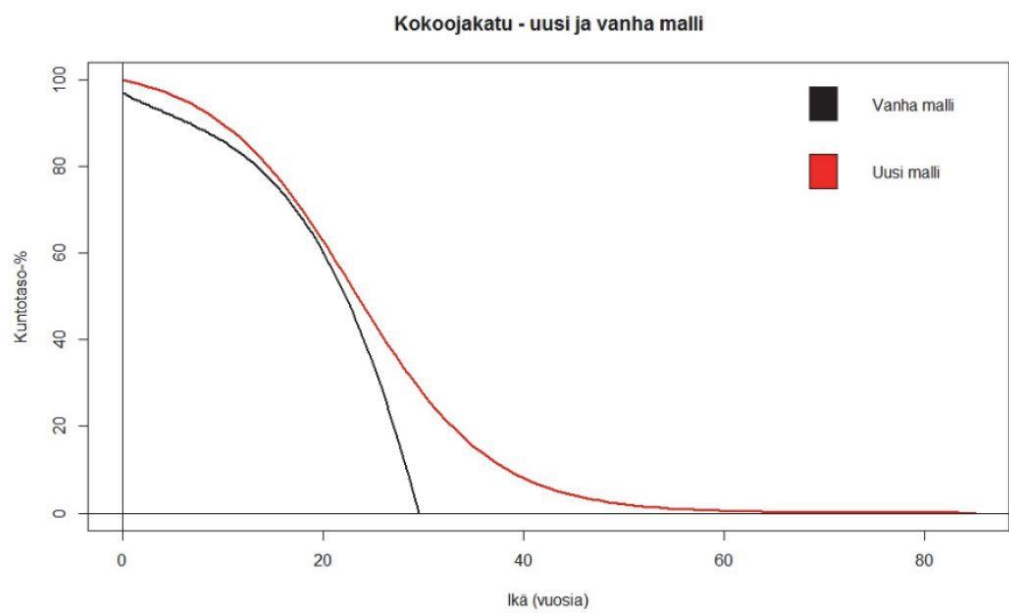
### **4.4.1 Laskentatyökaluun tehtyjä päivityksiä**

Korjausvelan periaatteiden määrittäyshankkeen päätyttyä aloitettiin korjausvelan laskentahanke, jonka aikana kehitettiin Excel-pohjainen korjausvelkalaskin. Laskentahankkeen aikana laskinta testattiin muun muassa Vaasan kaupungissa. [46, s. 4 - 5]. Laskimen valmistuttua Vaasan kaupungin kaduista tehtiin korjausvelkalaskelma vuosien 2014 ja 2015 aikana [48, s. 36]. Korjausvelan laskentahankkeen jälkeen korjausvelkalaskinta on päivitetty katujen korjausvelan laskennan kehityshankkeessa, jonka aikana parannettiin kuntotasomalleja, päivitettiin laskimen hintatasoja sekä parannettiin laskimen käytettävyyttä. Käytettävyyttä parannettiin lisäämällä laskimeen laskentarivejä sekä lisäämällä mahdollisuus kuntotason manuaalisen määrittämiseen. [18, s. 4].

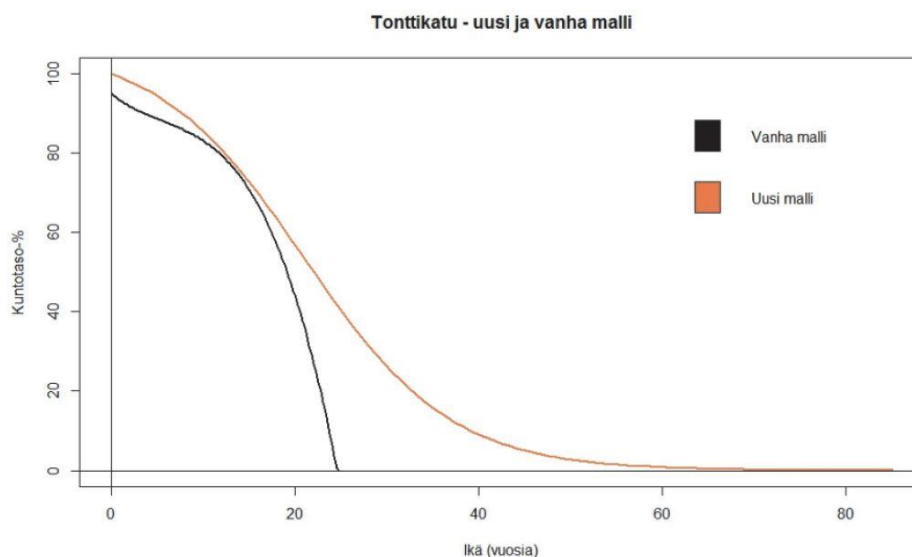
Kuntotasomalleja päivitettiin muuttamalla kuntotasomallien kuvaajat S-käyriksi sekä asettamalla kuntotason alarajaksi 0 %. Alkuperäisissä kuntotasomalleissa kuntotaso laskeutui liian nopeasti, mikä huomioitiin kuntotasokuvaajan käyrän muutoksella. Kuntotasomalleja päivitettiin saatujen tutkimustietojen avulla ja S-käyrien muotoiset kuvaajat sovitettiin alkuperäisiä malleja mukaileviksi. Kuvassa 53 on esitetty pääkadun, kuvassa 54 kokoojakadun ja kuvassa 55 tonttikadun uusi ja vanha kuntotasomalli. Jokaisessa kuvassa erottuu vanhan mallin kuntotason laskeminen nopeasti kadun iän kasvaessa. Uudessa kuntotasomalleissa S-käyrän seurauksena kadun kuntotaso ei romahda täysin 20 ja 30 ikävuoden välillä. [18, s. 6, 15 - 17].



**Kuva 53.** Pääkatujen uusi ja vanha kuntotasomalli



**Kuva 54.** Kokoojakatujen uusi ja vanha kuntotasomalli



*Kuva 55. Tonttikatujen uusi ja vanha kuntotasomalli*

#### 4.4.2 Päivitysten vaikutuksia korjausvelkalaskennan tuloksiin

Vaasan kaupungin korjausvelkalaskelma on tehty laskimen vanhemmalla versiolla. Laskelma on tehty kaikista Vaasan kaduista, mutta sitä ei ole päivitetty uuteen laskinversioon. Tämän diplomityön aikana tutustutaan tarkemmin 15:een Vaasan katuun, joiden sijainneista ja valintaperusteista kerrotaan tarkemmin luvussa 5. Näille kaduille on tehty korjausvelkalaskelmat alkuperäisellä laskimella sekä laskimen päivitetyllä versiolla havainnollistamaan laskimen päivityksen vaikutuksia.

Korjausvelkalaskelmat näiltä 15 kadulta on laskettu vuodelle 2018. Katujen uudisarvot on laskettu Raution [48] tekemän työn aikana Fore-kustannuslaskentaohjelmalla, joten katujen uudisarvot ovat molemmissa laskennoissa laskimesta riippumattomia. Laskentatulokset on esitetty kuvissa 56 ja 57. Kuvista nähdään, että katujen uudisarvot ovat samat, noin 8,27 miljoonaa euroa. Kuntotasoarvioissa, korjausvelan prosentuaalisessa määrässä sekä korjausvelan rahallisessa määrässä on kuitenkin huomattavat erot. Vanhemmalla laskimella laskettuna pääkatujen kuntotasoarvio on 0 % ja korjausvelka 90 %. Päivitetyllä laskimella pääkatujen kuntotaso on 49 %. Muilla katuluokilla erot ovat maltillisempia kuin pääkaduilla. Laskentojen välinen ero korjausvelan rahallisessa määrässä on 1,63 miljoonaa euroa, mikä on huomattava määrä uudisarvoon verrattaessa.

RAPORTOINTI					
Kohdetyyppi	Uudisarvo	Arvopainotteiset keskiluvut			kv-summa
		opt. k-taso	kt-arvio	korj.v.-%	
Pääkatu	1 951 742 €	90	-	90 %	1 756 568 €
Kokoojakatu	4 419 228 €	75	17	58 %	2 542 892 €
Tonttikatu	1 896 794 €	65	2	63 %	1 191 719 €
A1 Edustuspuisto	-	-	-	-	-
A2 Käyttöpuisto	-	-	-	-	-
A3 Käyttö- ja suojaviheralue	-	-	-	-	-
A3 + puu	-	-	-	-	-
	<b>8 267 764 €</b>				<b>5 491 178 €</b>

*Kuva 56. Korjausvelkalaskelman raportti, alkuperäinen laskin*

RAPORTOINTI					
Kohdetyyppi	Uudisarvo	Arvopainotteiset keskiluvut			kv-summa
		opt. k-taso	kt-arvio	korj.v.-%	
Pääkatu	1 951 742 €	90	49	41 %	791 095 €
Kokoojakatu	4 419 228 €	75	30	45 %	2 008 680 €
Tonttikatu	1 896 794 €	65	9	56 %	1 061 237 €
A1 Edustuspuisto	-	-	-	-	-
A2 Käyttöpuisto	-	-	-	-	-
A3 Käyttö- ja suojaviheralue	-	-	-	-	-
A3 + puu	-	-	-	-	-
Yhteensä	<b>8 267 764 €</b>				<b>3 861 012 €</b>

*Kuva 57. Korjausvelkalaskelman raportti, päivitetty laskin*

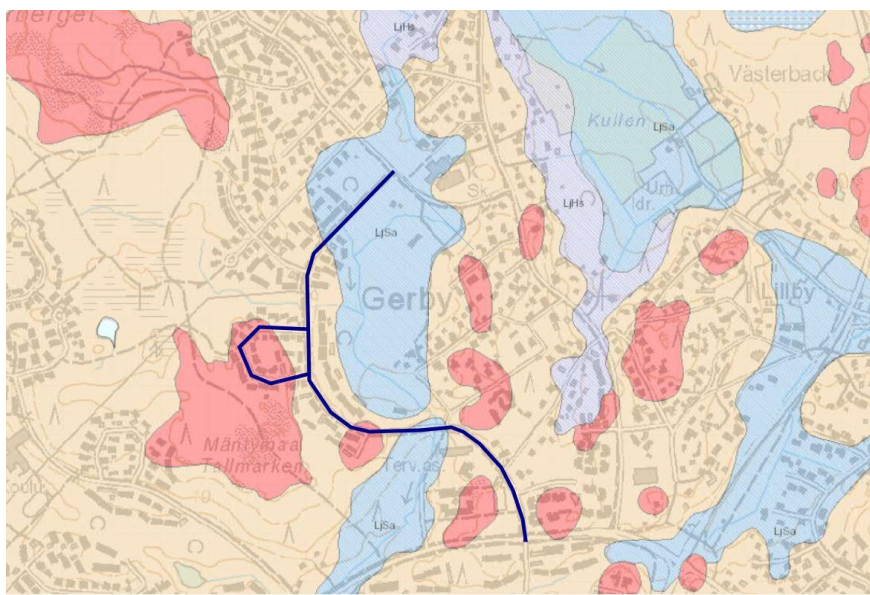
Suurin ero korjausvelkalaskimen eri versioilla lasketuissa kuntotasoissa on pääkatujen välillä. Pääkadut ovat pääsääntöisesti suurimpia ja uudisarvoltaan kalleimpia katuja, mikä osaltaan vaikuttaa suureen eroon korjausvelkasummissa. Laskennassa mukana olevista kaduista vain yksi katu on kokonaan pääkatu ja lisäksi yhden kadun yksi väli on laskimessa määritelty pääkaduksi. Laskennassa ei näin ollen ole mukana poikkeuksellisen suurta määrää pääkatuja, mikä voisi vääristää tuloksia. Laskentatulokset on esitetty katukohtaisesti ja tarkemmin liitteessä A. Yhteenvedon voidaan todeta, että laskentamallin päivitys vaikuttaa merkittävästi aiemmin laskettuun korjausvelan määrään.

## 4.5 Haasteita korjausvelkalaskimen käytössä

Korjausvelkalaskimen käyttö on Excel-pohjaisuuden vuoksi helppoa, koska käyttöliittymä on lähes kaikille tuttu. Joitain haasteita laskimen käytössä kuitenkin aiheutuu katujen jaottelusta ja osittelusta sekä lähtötietojen määrittelystä. Katutyyppejä on vain kolme ja pitkillä kaduilla osa kadusta saattaa toimia esimerkiksi pääkatuna ja osa kokoojakatuna. Myös eri tyyppiset kokoojakadut luovat haasteita, ja teollisuuskatujen huomiointi on laskennassa haasteellista ilman erillisiä tutkimuksia. Laskennan tarkkuutta voitaisiinkin parantaa katujen laajemmalla jaottelulla. Jaottelu voisi olla esimerkiksi Ruotsin tyyliin viisi eri luokkaa [54, s. 29]. Vaihtoehtoisesti kokoojakadut voitaisiin määritellä useaan luokkaan esimerkiksi liikennemäärien perusteella.

Kadun ollessa korjausvelkalaskimessa yhtenä osuutena pitkillä kaduilla ongelmana on myös vaihteittainen saneeraaminen. Jos osa kadusta saneerataan, pitäisi tämä huomioida saneerausvuodessa jaottelemalla katu lyhyempiin osaväleihin. Pitkillä kaduilla myös

alusrakenneluokan määrittäminen on haasteellista, koska kadun alla maaperä voi vaihdella. Maaperän vaihtelua voi olla myös lyhyillä kadunpätkillä, mutta pitkillä kaduilla todennäköisyys vaihteluihin on suurempi. Kuvassa 58 on esitetty kaksi katuä, Pitkänevantie sekä Mäntymaantie, joiden alla on vaihteleva pohjamaa. Mäntymaantie on kuvassa näkyvä pidempi katu. Kadut ovat mukana tämän diplomityön tarkemmin tutkittavissa kaduissa. Kuvassa punainen väri kuvaa kalliota, vaaleanruskea väri kuvastaa hiekkamoreenia, vaalean vihreät alueet liejusavea ja vaalean violetit alueet liejuhiesua. Kyseisten katujen kohdalla laskenta voitaisiin tehdä joko yhdessä tai useammassa osassa. Yhdellä osalla laskenta ei pidä täysin paikkaansa, koska maaperä on vaihtelevaa. Katua useampana osavälinä tarkasteltaessa tarkkuus on parempi, mutta laskenta on työläämpää. Laskennassa voi lisäksi silti olla virheitä, jos maalaajirajoja ei tiedetä täsmällisesti.



**Kuva 58.** Maaperän vaihtelua katuosuudella. Muokattu lähteen [10] pohjalta.

Katujen tiheämmällä osajaottelulla laskentatarkkuutta saadaan parannettua, mutta laskenta ja laskennan päivittäminen Excel-pohjaisessa laskimessa muuttuu aikaa vieväksi. Lisäksi laskentatarkkuuden vaikutuksia tiheämmällä jaottelulla ei ole selvitetty, joten erot saattavat olla kokonaistasolla pieniä. Lisäksi kuten luvussa 4.4.2 havaittiin, laskentamallien oikeellisuudella voi olla suurempi vaikutus kokonaisuuteen kuin yksittäisten tietotasojen osien oikeellisuudella.

## 4.6 Korjausvelkalaskenta Foren ohjelmistolla

Rapal Oy:n Fore-kustannuslaskentaohjelmistoon on kehitetty korjausvelkalaskennan työkalu, joka hyödyntää KEHTO-foorumien kanssa yhteistyönä kehitettyjä korjausvelan laskentamalleja sekä Foren kustannustietoja ja hankeosamalleja. Korjausvelkalaskennan työkalu on tullut osaksi Fore-ohjelmistoa vuoden 2018 alussa ja työkalu on kehitetty kuntien ja kaupunkien käyttöön. Korjausvelan laskemisen lisäksi työkalulla on mahdollista tehdä osoite- ja aluekohtaisia priorisointilistoja katu- ja vesihuoltokohteille. [47].

## 5. TUTKIMUKSET VAASAN KATUVERKOLLA

Vaasan katuverkolla on tämän tutkimuksen yhteydessä tehty tarkentavia tutkimuksia 15:lle kadulle. Tutkittavaksi on pyritty valitsemaan erityyppisiä ja -ikäisiä katuja, jotta kaduilta saataisiin monipuolisia tutkimustuloksia. Alkuperäisenä tavoitteena oli myös kuivatusrakenteiden kunnon tutkiminen. Asiaa tarkasteltaessa ei löydetty mitään nopeaa keinoa, jolla voitaisiin tutkia kuivatusjärjestelmien kuntoa laajoilta alueilta, joten kuivatuksen tutkiminen tehtiin vain pintakuivatuksen tarkastelulla ja kuivatusluokan määrittelyllä.

### 5.1 Tutkittavat kohteet

Katujen rajaamisessa sekä valinnassa hyödynnettiin Vaasan kaupungin pitämää korjaustarpeessa olevien katujen listausta sekä Excel-muodossa olevaa korjausvelkalaskinta. Korjaustarpeessa olevien katujen listauksessa on mukana katuja, joista joko kaupungin kunnossapito tai asukkaat ovat antaneet palautetta. Tutkimuksen kohteeksi valikoitiin korjaustarpeessa olevat kadut. Näille kaduille etsittiin korjausvelkalaskimen tietojen avulla pohjamaaluokaltaan ja iältään samankaltaisia vertailukatuja. Vertailukadut ovat korjausvelkalaskimen mukaan lähes samassa kunnossa kuin korjaustarpeessa olevat kadut, mutta vertailukatujen kunnosta ei ole tullut erillistä palautetta. Korjaustarpeessa olevia katuja vertailukatuineen oli kymmeniä, joten kaikkia ei ollut mahdollista sisällyttää mukaan tutkimukseen.

Katujen valinnassa ensimmäinen rajausta oli kadun pintamateriaali: murskepintaiset kadut jätettiin pois ja tarkasteltavaksi jäi vain asfalttipäällysteiset kadut. Toinen rajausta oli katujen sijainnin ja kustannusten yhteisvaikutus: Vähänkyrön kadut rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle, koska niiden tiedettiin olevan huonossa kunnossa ja niiden sijainti on kaukana muista kohteista. Kaduille tehtäville tutkimuksille laskettiin suuntaa antava kustannusarvio toimijoilta saatujen karkeiden hintatietojen pohjalta. Kustannusarvioiden ja yhteistyössä kaupungin edustajien kanssa tehdyn prioriteettilistauksen perusteella tehtiin kolmas karsinta. Kolmannessa karsinnassa pohdittiin, mistä kaduista tehdyt tutkimukset voivat antaa eniten lisäarvoa tutkimuksen kokonaisuuden kannalta. Jos lähtötietojen perusteella jotkin kadut olivat hyvin lähellä toisiaan, toinen katu karsittiin pois vähäisen lisäarvon vuoksi. Näin saatiin myös alennettua karkeaa kustannusarviota.

Tutkittaviksi kohteiksi valikoitui lopulta 15 katuja, jotka on valittu ympäri Vaasaa pois lukien Vähänkyrön alueet. Kohteiksi on pyritty valitsemaan kattavasti erityyppisiä katuja eri vuosikymmeniltä. Tutkittaviksi valitut kadut on esitetty taulukossa 1, jossa on kadun nimi, kaupunginosa, rakentamis- tai saneerausvuosi, katutyyppe, kadun valintaperuste

sekä tässä tutkimuksessa kadulle annettu numero. Osa kaduista on jaettu korjausvelkalaskimessa osiin. Tästä syystä kyseiset kadut on esitetty osissa myös taulukossa 1. Koulukadun osavälit ovat tutkimuksissa lyhyempiä, mitä ne ovat korjausvelkalaskimessa. Vanhan Vaasan kadulla ja Kauppapuistikolla osavälit ovat tutkimuksissa ja korjausvelkalaskimessa samoja. Taulukossa samalla värillä olevat kadut ovat keskenään samantyyppisiä kohteita, joista saatuja tutkimustuloksia vertaillaan keskenään. Katujen sijainnit kartalla on esitetty kuvissa 59 ja 60. Kadut on merkitty kuviin punaisella viivalla ja katujen viereen on merkitty katujen numero taulukon 1 mukaisesti.

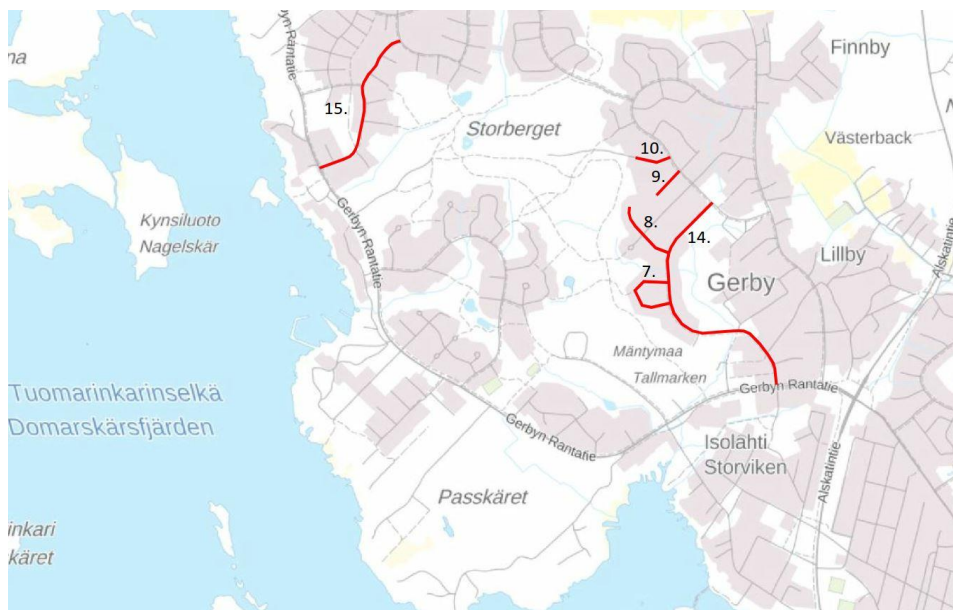
**Taulukko 1.** Tutkimukseen valikoituneet kadut

Número	Kadun nimi	Kaupunginosa	Rakentamis-/saneerausvuosi	Katutyyppi	Valintaperuste
1.	Vanhan Vaasan katu, väli: Niittomiehenkatu - Kappelinmäentie	Ristinummi	1975	Kokoojakatu	Korjaustarve
1.	Vanhan Vaasan katu, väli: Kappelinmäentie - Lehtikuusentie	Ristinummi	1998	Kokoojakatu	Korjaustarve
2.	Kauppapuistikko, väli: Vaasanpuistikko - Rauhankatu	Keskusta	1995	Pääkatu	Runsas liikennemäärä
2.	Kauppapuistikko, väli: Rauhankatu - Korsholmanpuistikko	Keskusta	1988	Pääkatu	Runsas liikennemäärä
3.	Koulukatu, väli: Hovioikeudenpuistikko - Vaasanpuistikko	Keskusta	1989	Kokoojakatu	Vertailukatu
3.	Koulukatu, väli: Vaasanpuistikko - Rauhankatu	Keskusta	1989	Pääkatu	Vertailukatu
4.	Sorvarinkatu	Ristinummi	1974	Tonttikatu	Korjaustarve
5.	Sepänkatu	Ristinummi	1974	Tonttikatu	Korjaustarve
6.	Jyrsijänkatu	Ristinummi	1974	Tonttikatu	Vertailukatu
7.	Pitkänevantie	Gerby	1985	Tonttikatu	Korjaustarve
8.	Uusepellontie	Gerby	1986	Tonttikatu	Korjaustarve
9.	Talkootie, väli: Kortelaakson tiestä lounaaseen	Gerby	1987	Tonttikatu	Korjaustarve
10.	Hellaksentie	Gerby	1986	Tonttikatu	Vertailukatu
11.	Smirnoffintie	Huutoniemi	1971	Tonttikatu	Korjaustarve
12.	Liisanlehdontie	Vanha Vaasa	1979	Tonttikatu (teollisuuskatu)	Korjaustarve
13.	Kaarlentie	Vaskiluoto	1982	Tonttikatu (teollisuuskatu)	Vertailukatu
14.	Mäntymaantie	Gerby	1985	Kokoojakatu	Pohjamaan vaikutus
15.	Rajarinne	Västervik	1988	Kokoojakatu	Pohjamaan vaikutus



**Kuva 59.** Valituista kaduista kadut 1 - 6 ja 11 - 13 kartalla. Kartta muokattu lähteestä [36].





**Kuva 60.** Valituista kaduista kadut 7 - 10 ja 14 - 15 kartalla. Kartta muokattu lähteestä [36].

Katujen valintaperusteena taulukossa on runsas liikennemäärä, korjaustarve, vertailukatu sekä pohjamaan vaikutus. Koulukatu valikoitui vertailukaduksi Kauppapuistikolle, koska kadut ovat samansuuntaisia ja liikenteeltään samantyyppisiä. Tutkimukseen valikoitui lisäksi kahdeksan katu korjaustarpeen listauksesta ja näille kaduille etsittiin vertailukadut korjausvelkalaskimen tietojen avulla. Vanhan Vaasan kadulle ja Smirnoffintielle ei löytynyt vertailukatuja. Vanhan Vaasan kadussa kadun eri osia kuitenkin vertailtiin keskenään. Smirnoffintie on vuonna 1971 rakennettu katu, jonka kunto on saanut palautetta palautejärjestelmän kautta, mutta kadun ei ole vielä todettu olevan saneeraustarpeessa. Näiden tietojen perusteella tehtiin päätös, että kadun kunnosta halutaan tehdä tarkempia tutkimuksia, ja tarkastella syitä erilaisiin mielipiteisiin.

Kaksi katu, Mäntymaantie ja Rajarinne, valittiin pohjamaan perusteella. Kadut ovat kokoojakatuja, joilla on keskenään eri pohjamaaluokka. Mäntymaantien pohjamaaksi on määritetty  $\mu G$ , kun taas Rajarinteen pohjamaaluokka on A. Myös Gerbyssä olevista tonttikaduista Pitkänevantien pohjamaaluokka on A, mikä vaikutti kadun valintaan. Vaasassa suurin osa kaduista on pehmeällä maaperällä ja pohjamaaluokka A on harvinaisen. Tämän vuoksi tutkimukseen valittiin mukaan myös paremmalle pohjamaalle rakennettuja katuja.

## 5.2 Kohteissa tehdyt tutkimukset

Kaduille tehtäviä tutkimuksia pohdittiin yhteistyössä kaupungin edustajien kanssa luvussa 2.5 esitettyjen menetelmien pohjalta. Valittavien tutkimusmenetelmien tavoitteena oli saada lisätietoa korjausvelkalaskimessa tarvittaviin tietotasoihin. Korjausvelkalaskimen tiedoista puuttui täysin tiedot tietotasolta 3, eli kantavuus-, kuivatus- sekä rou-

tivuusluokka. Valittavista tutkimusmenetelmistä rajattiin pois kaikki rakennetta rikkovat menetelmät. Tutkimusmenetelmiksi haluttiin valita rakennetta rikkomattomia ja liikennettä mahdollisimman vähän häiritseviä menetelmiä sekä menetelmiä, joilla on mahdollista tehdä tutkimukset nopeasti ja suurelle katumäärälle. Tutkimusmenetelmiksi haluttiin tällaisia menetelmiä, koska tavoitteena oli tutkia nopeita mittaussuunnitelmia ja kaupungin katuverkkoa ei haluttu rikkoa tämän tutkimuksen yhteydessä. Kaikille valituille kaduille päätettiin tehdä keskenään samat tutkimukset. Näin tutkimusten tilaaminen ja tutkimustulosten vertaileminen on helpompaa kuin tilanteessa, jossa jokaiselle kadulle olisi katukohtaisesti räätälöidy tutkimukset. Näiden rajausten pohjalta tarkasteltaviksi tutkimusmenetelmiksi valikoitui kantavuusmittaus pudotuspainolaitteella, videokuvaukset, PTM-mittaus, laserkeilaus sekä maatumittaus.

Kantavuusmittaus on mahdollista suorittaa pudotuspainolaitteella, levykuormituskoella tai TSD-mittauksilla. TSD-mittaukset eivät ole yleistyneet Suomessa ja menetelmän on toistaiseksi todettu soveltuvan huonosti matalille nopeuksille. Levykuormituskoe on puolestaan enemmänkin uuden rakenteen laadunvarmistuskeino. Lisäksi levykuormituskokeet vievät aikaa, mittaustavassa tarvitaan riittävän suuri vastapaino ja mittaus vie katualueelta paljon tilaa, joten menetelmä ei ollut soveltuva tässä tutkimuksessa käytettäväksi mittaustyyppiksi. Pudotuspainolaitteella tehty kantavuusmittaus on nopeampi suorittaa kuin levykuormituskoe ja tutkimustavan on todettu simuloivan liikennekuormituksen kaltaista dynaamista kuormitusta. Näiden syiden sekä kantavuusmittaustarpeen seurauksena pudotuspainolaitemittaus oli yksi valittavista tutkimusmenetelmistä.

PTM-mittauksessa sekä laserkeilauksessa molemmissa saadaan tutkittua kadun pituus- ja poikkisuuntainen tasaisuus eli IRI- ja URA-arvot. PTM-mittauksia on tehty paljon ja mittaukset ovat helposti toistettavissa. Katuympäristössä muun liikenteen ja liikennevalojen seurauksena mittausten teko voi kuitenkin olla katkonaista, jolloin mittausten toistettavuus ja vertailtavuus heikkenevät. Mobiililaserkeilaus on puolestaan hiljalleen yleistynyt mittaustuoto, joten mittausten suorittaminen ei ole niin vakiintunutta kuin PTM-mittauksilla. Laserkeilattua aineistoa on kuitenkin mahdollista hyödyntää myös laajemmin pinnantasauksen muodon hahmottamisessa sekä suunnittelun lähtötietoina. Kevät- ja kesämittauksilla katurakenteista on mahdollista mitata kadun routanousu vertailemalla roudassa olevan ja sulan rakenteen korkotietoja. Monipuolisempien käyttömahdollisuuksien vuoksi mobiililaserkeilaus valikoitui hyödynnettäväksi tutkimusmenetelmäksi. Mobiililaserkeilausten yhteydessä tutkittavat kadut myös videokuvattiin.

Maatumittauksella on mahdollista selvittää korjausvelkalaskimen tietotasoon 2 liittyen kaikki tiedot, eli päällysteen ja päällysrakenteen paksuudet sekä alusrakenneluokka. Maatumittauksella on mahdollista tutkia myös mahdollisia pohjamaan tai rakennekerrospaksuuksien vaihteluita. Talvella tai keväällä tehtävillä maatumittauksilla on mahdollista selvittää myös routaraja edellyttäen, että rakenne on routivaa. Maatumittauksilla on mahdollista selvittää paljon korjausvelkalaskimessa tarvittavia tietoja, mutta tässä diplomii-

työssä suuri osa tiedoista oli jo valmiina korjausvelkalaskimessa. Maatutkauksella saatava lisäarvo korjausvelkalaskimessa olevien tietojen osalta olisi tosin mielenkiintoista dataa. Tuloksilla voitaisiin tarkastaa päällysteen ja päällysrakenteen kokonaispaksuuksia ja tarvittaessa päivittää paksuusluokkia. Korjausvelkalaskimesta puuttuvien tietojen osalta maatutkauksella ei kuitenkaan saada niin suurta lisäarvoa ja tämän sekä tutkimuskustannusten seurauksena maatutkauksia ei tilattu tutkittaville kaduille.

Lopulta käytettäviksi tutkimusmenetelmiksi valikoitui laserkeilaus kevät- ja kesämittauksena, kantavuusmittaukset pudotuspainolaitteella sekä laserkeilauksen yhteydessä suoritettava videokuvaukset. Valituilla tutkimuksilla on mahdollista saada arvoja korjausvelkalaskimen kolmannen tietotason parametreihin ja näin tarkentaa korjausvelkalaskimen laskentatuloksia. Valitut tutkimusmenetelmät päätettiin yhteistyössä kaupungin edustajien kanssa.

### 5.3 Tutkimusten tilaaminen

Tutkimuksia tilatessa on tärkeää tietää, halutaanko tutkimuksilla selvittää yksittäisten katujen kuntoa vai onko tarkoitus selvittää katujen kuntoa verkkotasolla. Lisäksi on tärkeää tietää, millaista tietoa milläkin tutkimuksella saadaan, jotta ei tilata vääriä tutkimuksia. Oikeilla tutkimuksilla voidaan ennakoida kunnostustarpeen ajankohtaisuutta ja kunnostustarpeen ollessa akuutti voidaan tutkia vaurioiden syyt ja näin korjata oikeat viat katurakenteista.

Ennen tutkimusten tilaamista on hyvä olla selvillä, miksi tutkimuksia tilataan, miten niitä hyödynnetään ja mitä tehdään tutkimustulosten saamisen jälkeen. Pitkäjänteinen kunnostussuunnitelma on hyvä olla olemassa jo ennen kuntotutkimusten tilaamista ja kunnostussuunnitelma tulisi päivittää tutkimustulosten saamisen jälkeen. Tällöin kunnostussuunnitelma vastaisi todellista tutkittua tilannetta ja olisi mahdollisimman ajantasainen. Pitkäjänteisesti suunnittelemalla tutkimustavat ja ajankohdat voidaan määrittää ja tutkimuksia voidaan tehdä systemaattisesti. Pitkäjänteinen suunnittelu myös mahdollistaa tutkimusbudjetin paremman ennakoitavuuden.

Kuntotutkimusten tilaaminen ei ole vielä vakiintunut prosessi kuntatasolla ja vain osa kunnista on tilannut kuntotutkimuksia katuverkolleen. Kuntotutkimuksia tilanneista kunnista suurin osa on kooltaan keskisuuria tai suuria kuntia tai kaupungeja, joissa on vahvat organisaatiot kuntatekniikan puolella. Pienissä kunnissa työntekijöiden vähäinen määrä sekä mahdolliset ajan ja osaamisen puute heikentävät mahdollisuuksia tehokkaaseen pitkäjänteiseen kuntotutkimus- ja kunnostusprosessiin.

Tässä tutkimuksessa kuntotutkimusten tilaamisessa huomioitiin hankintalaki ja lain edellyttämä kilpailutus. Kilpailutuksen seurauksena kuntotutkimukset tilattiin tarjouspyyntökyselyn pohjalta halvimman hinnan mukaisesti. Tarjouspyynnöt lähetettiin useal-

le eri toimijalle ja tarjouspyynnössä pyydettiin erillinen hintatarjous seuraaville tutkimuksille:

1. Kantavuusmittaus pudotuspainolaitteella,
2. Maatutkaus sulasta rakenteesta,
3. Katujen pinnan laserkeilaus (A) jäässä ja (B) sulana olevasta rakenteesta,
4. Laserkeilauksen tulkinta, sisältäen uratulkinnan ja IRI:n,
5. Katujen videokuvaus,
6. Maatutkauksen tulkinta,
7. MDI (Moisture Damage Index) -tulkinta maatutkauksesta.

Yllä olevista tutkimuksista MDI-tulkinta ei ollut alkuperäisesti mietityissä tutkimusmenetelmissä. MDI-tulkinta päätettiin silti lisätä tarjouspyyntöön, koska tulkinnalla olisi mahdollista saada tietoa rakenteissa olevasta kosteudesta ja kosteuden vaikutuksista. Lopulta maatutkausta ja MDI-tulkintaa ei tilattu ollenkaan.

Tarjouspyynnön tekemisen ja tutkimusten tilausprosessin aikana ja tapahtumien jälkeen ilmeni asioita, joita on hyödyllistä huomioda ennen tarjouspyyntöjen lähettämistä tai viimeistään työn tilaamisen yhteydessä. Esiin tulleita asioita olivat:

- etukäteen tehtävä päätöksenteko, mitä tutkimuksia tilataan ja millaisiin tarpeisiin ne tulevat,
- selkeä tarjouspyyntö, jossa pyydetään yksi kokonaishinta, joka sisältää jokaisen tarjouspyynnössä mainitun tutkimuksen,
- tutkimuksille riittävä budjetti, ettei tarjousten saamisen jälkeen ole tarvetta miettiä tutkimusten laajuutta,
- tutkimustulosten ja erityisesti suurien materiaalien toimitustapa,
- toimitettavan materiaalin käsittely sekä käytettävät tiedostoformaatit ja niiden käytettävyys.

Tämän tutkimuksen aikana havaittiin, että tutkimuksista tehty tarjouspyyntö ei ollut riittävän selkeä. Saatuja tarjouksia oli haasteellista vertailla, koska toimijoiden hinnat vaihtelivat tutkimustyypeittäin. Kustannuksiltaan halvimman kokonaisuuden hahmottaminen ja löytäminen vaativat suhteellisesti liian paljon aikaa. Tulosten ja tilaajalle toimitettavien mittausaineistojen ja aineistoformaattien sopiminen on tärkeää tehdä työn tilaamisen yhteydessä. Tämän tutkimuksen aikana tilaajalla ja toimijalla oli erilaiset oletukset toimitettavan mittausmateriaalin laajuudesta, mikä aiheutti materiaalin toimittamisen viivästymistä alkuperäisestä aikataulusta.

## 6. TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN HYÖDYN- TÄMINEN

### 6.1 Tutkimustulokset

Tutkimustuloksina saatiin kahden erillisen toimijan mittauksista kantavuusmittaukset, katujen videokuvaukset sekä laserkeilausten kevät- ja kesämittaus. Kevätmittaus tehtiin keväällä hiekanpoiston jälkeen, kuitenkin siten, että routa ei olisi vielä sulanut. Kesämittaukset tehtiin kesäkuussa roudan sulamisen jälkeen. Laserkeilausaineiston kevät- ja kesämittausten eroista oli tarkoitus laskea toteutunutta routanousua. Laserkeilausaineistoa ei kuitenkaan saatu käyttöön, joten routanousua ei voitu määrittää tutkimusten avulla. Laserkeilausaineistosta kuitenkin saatiin toimijan tekemät IRI- ja URA-tulkinnat. Saatujen tutkimustulosten lisäksi tutkimuksessa mukana oleville kaduille on tehty maastokäynnit, joiden aikana on määritetty katujen kuivatusluokat.

#### 6.1.1 Kantavuusmittaukset

Kantavuusmittaukset on tehty Kuab-50 pudotuspainolaitteella ja käytetty mittaustiheys on ollut 30 metriä. Kantavuusmittaustulokset on esitetty E-moduuleina ja yksikkönä on megapascalit, MPa. Kantavuusmittausten mittausajankohtana on ollut 3.7.2018. Vuoden 2018 kevät on ollut hyvinkin kuiva ja toukokuun alun ja heinäkuun alun välillä on ollut vain kahdeksan päivää, jolloin on satanut. Osa näiden kahdeksan päivän sateista on ollut hyvin mitättömiä, joten kokonaissademäärät ovat olleet erittäin pieniä. Kuivuus ja pitkä lämmin jakso ovat osaltaan vaikuttaneet kantavuusmittausten tuloksiin, koska katujen sitomaton kantava kerros on ehtinyt kuivua ja kovettua.

Katujen kantavuuden analysoinnissa on painotettu huonoja mittaustuloksia, koska jos osassa kadusta on vaurioita, on kadulla korjaustarvetta. Korjaustarpeen painottaminen antaa rakenteen kunnosta todellisemman kuvan ja hyviä arvoja, keskiarvoa tai mediaania painottamalla olemassa oleva korjaustarve saattaisi olla odottamatonta. Mitatut kantavuudet ovat sääolosuhteiden seurauksena erittäin hyviä, joten jos tulosten analysoinnissa painotettaisiin hyviä lukuja, olisi mahdollista arvioida kaduille määriteltävä kantavuus liian hyväksi. Katujen kantavuusluokan määrittelyssä on käytetty mittaustuloksista määriteltäviä ensimmäistä desiiiliä. Tällöin mittaustuloksista 10 % jää käytettävän desiiiliarvon alapuolelle ja 90 % on arvoa parempia tuloksia [63]. Käytännössä 10 % kantavuusmittaustuloksista ovat pienempiä kuin käytettävä, kadun kantavuutta määrittävä arvo ja 90 % mittaustuloksista ovat käytettävää arvoa suurempia arvoja.

Korjausvelkalaskimessa kantavuusluokkien määrittelyt ovat alimitoitettu, riittävä ja hyvä. Luokkien välisille raja-arvoille ei ole annettu laskimessa tarkempaa määrittelyä, joten käytetyt raja-arvot on määriteltä tutkimusta tehdessä seuraavasti:

- rakenteen kantavuus on alimitoitettu aina, kun kantavuus ei täytä tavoitekantavuutta,
- kantavuus on riittävä, jos mitattu kantavuus on 1,00...1,15 -kertainen tavoitekantavuuteen nähden ja
- kantavuus on hyvä, jos mitattu kantavuus on yli 1,15-kertainen tavoitekantavuuteen nähden.

Liisanlehdontie ja Kaarlentie on määriteltä korjausvelkalaskimessa tonttikaduiksi. Katujen varrella on pääasiassa teollisuutta, jolle ei kuitenkaan ole omaa määritelmää laskimessa. Teollisuuskaduilla tavoitekantavuuden tulisi olla parempi kuin tonttikaduilla, joten näille kaduille on määriteltä tavoitekantavuudeksi kokoojakatujen tavoitekantavuusarvo. Koulukadun väli Hovioikeudenpuistikko - Vaasanpuistikko on määriteltä kokoojakaduksi, mutta kyseisen välin tavoitekantavuutena tarkasteluissa käytetään pääkadun tavoitekantavuutta.

Katujen kantavuusmittaustulosten määrittelyarvot, eli ensimmäistä desiiliä vastaavat arvot, sekä kantavuusluokka on esitetty taulukossa 2. Taulukossa on esitetty myös kadun nimi, katutyyppi, tavoitekantavuus sekä tavoitekantavuuden perusteella määritetyt raja-arvot kantavuusluokille. Taulukossa Vanhan Vaasan katu, Kauppapuistikko ja Koulukatu on jaettu osaväleittäin, kuten on tehty myös korjausvelkalaskimessa. Kantavuusmittaustulosten määrittelyarvoja sekä kantavuusluokkaa on korostettu väreillä: punainen väri vastaa heikointa kantavuusluokkaa eli luokkaa 3, keltainen väri vastaa luokkaa 2 ja vihreä väri vastaa luokkaa 1.

**Taulukko 2. Katujen toteutuneet kantavuusluokat**

Katu	Katutyyppi	Tavoite- kantavuus	3 Alimitoitettu	2 Riittävä*	1 Hyvä	Toteutunut 1. desiili	Kantavuus- luokka	Heikoin tulos kantavuus- mittauksissa
1. Vanhan Vaasan katu, väli Niittomiehenkatu - Kappelinmäentie	Kokoojakatu	250	<250	250 - 287	287<	239	3	159
1. Vanhan Vaasan katu, väli Kappelinmäentie - Lehtikuusentie	Kokoojakatu	250	<250	250 - 287	287<	388	1	360
2. Kauppapuistikko, väli Vaasanpuistikko - Rauhankatu	Pääkatu	350	<350	350 - 402	402<	470	1	418
2. Kauppapuistikko, väli Rauhankatu - Korsholmanpuistikko	Pääkatu	350	<350	350 - 402	402<	524	1	436
3. Koulukatu, väli Hovioikeudenpuistikko - Vaasanpuistikko	Kokoojakatu	350	<350	350 - 402	402<	401.8	2	373
3. Koulukatu, väli Vaasanpuistikko - Rauhankatu	Pääkatu	350	<350	350 - 402	402<	369	2	333
4. Sorvarinkatu	Tonttikatu	200	<200	200 - 230	230<	210	2	176
5. Sepänkatu	Tonttikatu	200	<200	200 - 230	230<	293	1	263
6. Jyrsijänkatu	Tonttikatu	200	<200	200 - 230	230<	276	1	239
7. Pitkännevantie	Tonttikatu	200	<200	200 - 230	230<	342	1	323
8. Uuspellontie	Tonttikatu	200	<200	200 - 230	230<	266	1	264
9. Talkootie	Tonttikatu	200	<200	200 - 230	230<	296	1	295
10. Hellaksentie	Tonttikatu	200	<200	200 - 230	230<	174	3	160
11. Smirnofintie	Tonttikatu	200	<200	200 - 230	230<	242	1	221
12. Liisanlehdontie	Tontti-/ teollisuuskatu	250	<250	250 - 287	287<	255	2	204
13. Kaarlenie	Tontti-/ teollisuuskatu	250	<250	250 - 287	287<	290	1	267
14. Mäntymaantie	Kokoojakatu	250	<250	250 - 287	287<	249	3	228
15. Rajarinne	Kokoojakatu	250	<250	250 - 287	287<	344	1	300

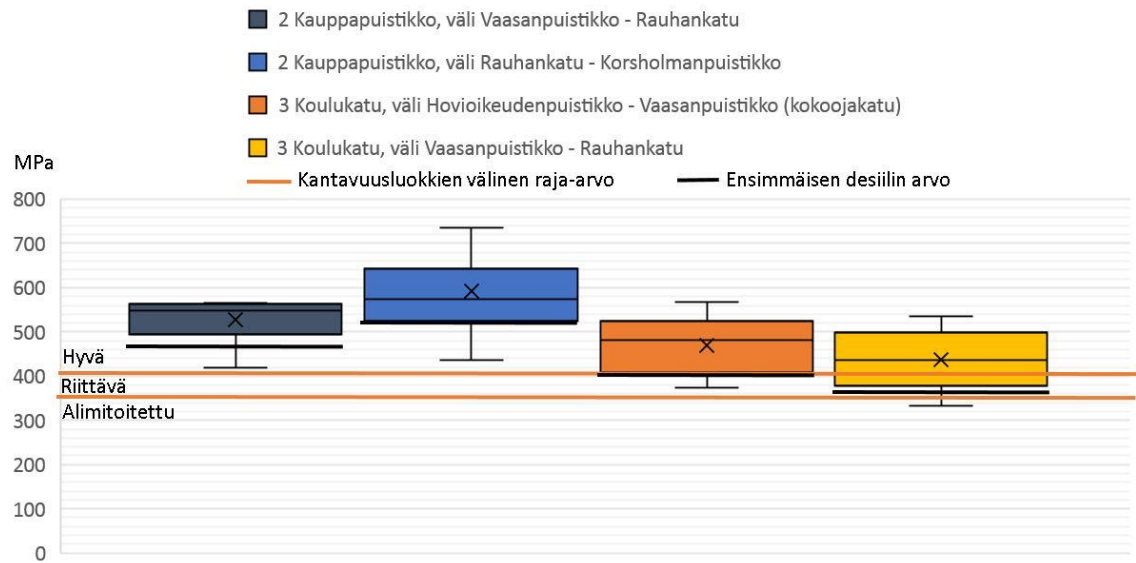
\*) Hyvä kantavuus on määritelty 15 % tavoitekantavuutta paremmaksi arvoksi. Riittävä kantavuus on välillä 100-115 % tavoitekantavuudesta

Taulukossa 2 esitetyistä tuloksista havaitaan, että suurimmalla osalla kaduista kantavuusluokaksi on saatu hyvä. Koulukadulla, Sorvarinkadulla ja Liisanlehdontiellä kantavuusluokka on riittävä ja Vanhan Vaasan kadun välillä Niittomiehenkatu - Kappelinmäentie, Hellaksentiellä sekä Mäntymaantiellä kantavuus on alimitoitettu. Tuloksiin tulee kuitenkin suhtautua varauksella, koska olosuhteet mittauskesänä ovat olleet poikkeuksellisen kuivat.

Katukohtaiset kantavuusmittausten tulokset on esitetty katutyypin mukaisissa kuvissa. Kuvassa 61 on esitetty pääkatujen kantavuusmittaustulokset, kuvassa 62 kokooja- ja teollisuuskatujen tulokset ja kuvassa 63 tonttikatujen tulokset. Kuvassa 61 on esitetty myös Koulukadun välin Hovioikeudenpuistikko - Vaasanpuistikko tulokset, vaikka korjausvelkalaskimeen katu onkin määritetty kokoojakaduksi. Kuvien kantavuusmittaustuloksia kuvaavissa diagrammeissa on esitetty mitatut minimi- ja maksimi-arvot diagrammien ylä- ja alareunassa menevillä poikkiviivoilla. Joillain kaduilla mittaustuloksissa on yksittäisiä piikkiarvoja, jotka näkyvät yksittäisinä pisteinä diagrammien yläpuolella. Kuvissa musta viiva kuvaa ensimmäisen desiilin arvoa. Diagrammin leveän osuuden yläreuna kuvastaa mittaustuloksista yläkvartiilia ja alareuna alakvartiilia. Leveän osuuden yläpuolella on 25 % suurimmista mittaustuloksista ja alapuolella on 25 % pienimmistä mittaustuloksista. Oranssit poikittaiset viivat kuvastavat kantavuusluokittelujen välisiä raja-arvoja.

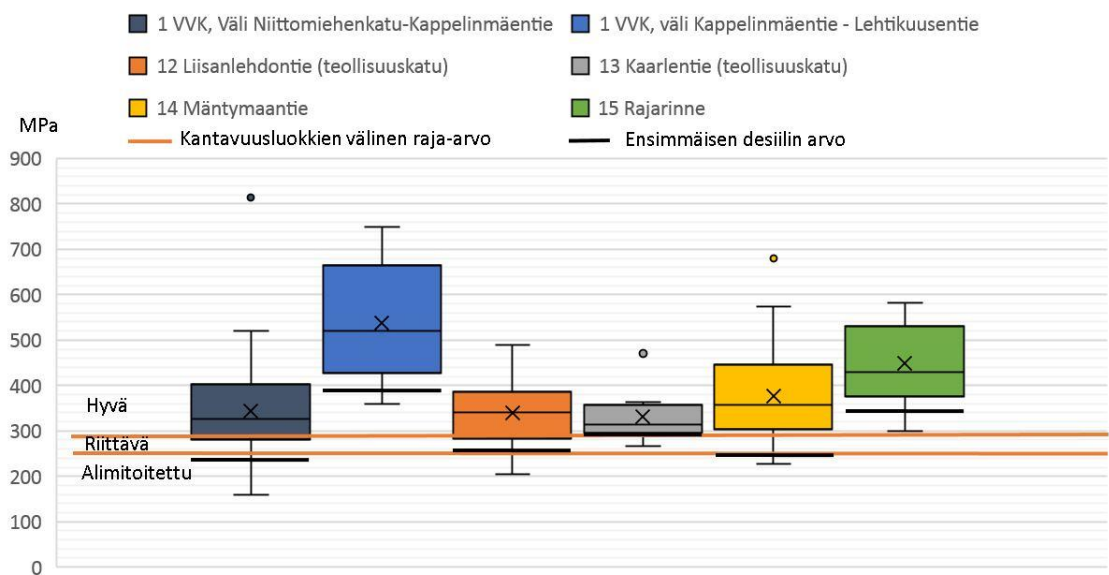


### Pääkadut, kantavuusmittaustulokset

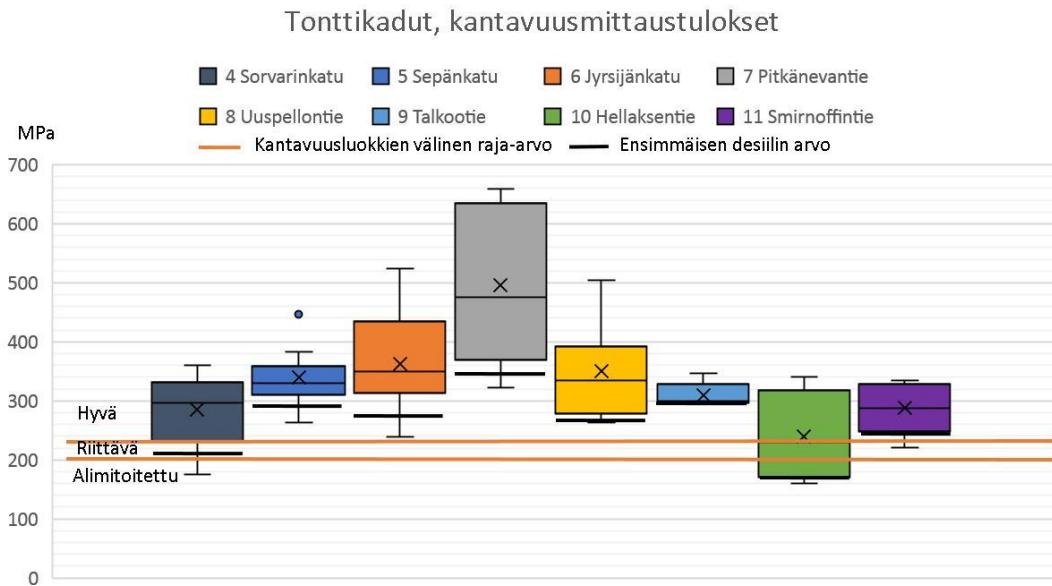


**Kuva 61.** Pääkatujen kantavuusmittaustulokset

### Kokooja-/teollisuuskadut, kantavuusmittaustulokset



**Kuva 62.** Kokooja- ja teollisuuskatujen kantavuusmittaustulokset



**Kuva 63.** Tonttikatujen kantavuusmittaustulokset

Tuloksista havaitaan, onko kaduilla mitatut kantavuusarvot lähellä toisiaan, vai tuleeko yhden kadun mittaustuloksissa suurta hajontaa. Mitä korkeampi palkki, sitä suuremmalla välillä on mittaustuloksia. Pääkaduista Kauppapuistikon kantavuusarvot ovat selkeästi parempia kuin Koulukadulla. Kauppapuistikolla kaikki mittausarvot ovat luokituksestaan hyviä, kun Koulukadulla joissain mittauksissa kantavuusarvo on jäänyt alimitoitetuksi. Osittain tähän voivat vaikuttaa Koulukadulla kesällä olleet katusaneeraustyöt.

Kokoojakaduista Vanhan Vaasan kadulla ei ollut vertailukatua, mutta kadun katuvälejä on mahdollista vertailla keskenään. Vanhemman osuuden, välin Niittomiehenkatu - Kappelinmäentie, kantavuus on selkeästi heikompi kuin uudemmalla osuudella. Mittausvälillä on yksittäinen piikkiarvo, mutta muutoin mittaustulokset ovat pääsääntöisesti heikommalla kuin uudemmalla Kappelinmäentie - Lehtikuusentie välillä. Osuuksien rakentamis- tai saneerausvuosissa on 23 vuotta eroa ja vanhemmalla osuudella on myös heikompi pohjamaaluokka. Kokoojakatuparilla Mäntymaantie - Rajarinne Rajarinteen kantavuusarvot ovat pääsääntöisesti paremmat muutamaa Mäntymaantien piikkiarvoa lukuun ottamatta. Rajarinteen pohjamaaluokka on A ja Mäntymaantiellä  $\mu G$ . Tämän voidaan olettaa näkyvän myös kantavuusmittaustuloksissa. Mäntymaantiellä mittausten vaihteluväli on selkeästi suurempi ja kadulla on myös heikkoja kantavuustuloksia, mikä seurauksena koko kadun kantavuusluokitus menee luokkaan 3.

Teollisuuskatujen, Liisanlehdontien ja Kaarlentien vertailussa kantavuusmittausten keskiarvotulokset ovat lähellä toisiaan. Kaarlentiellä hajonta on selvästi pienempi kuin Liisanlehdontiellä. Katu on myös lyhyempi, mikä voi osaltaan vaikuttaa hajontaan. Liisanlehdontiellä on mitattu huomattavasti paremmat ja huonommat kantavuudet kuin Kaarlentiellä. Huonojen tulosten painottamisen vuoksi Liisanlehdontien kantavuusluokka on 2. Kaarlentiellä kantavuus on riittävän raja-arvon yläpuolella ja kantavuusluokituksiksi tulee 1.

Tonttikaduista Sorvarinkadun, Sepänekadun ja Jyrsijänekadun vertailussa Jyrsijänekadulla on suurin hajontaväli ja samalla parhaan mittaussarvot. Sepänekadulla arvot ovat kaikkein tasaisimmat ja kadun kantavuusarvona käytettävä luku on kaduista korkein. Sorvarinkadulla on selkeästi heikoin kantavuus ja kadun kantavuusluokka jää riittävään muilla kaduilla luokituksen ollessa hyvä. Pitkänevantien, Uuspellontien, Talkootien ja Hellaksentien vertailussa vertailukatuna mukaan valikoidulla Hellaksentiellä on kaikkein heikoimmat kantavuusmittaustulokset ja kantavuusluokka jää alimitoitettuun muilla kaduilla luokituksen ollessa hyvä. Pitkänevantiellä kadun kantavuusarvot ovat kaikkein korkeimmat, mutta samalla mittaustulosten hajonta on kaikkein suurin. Osa kadusta on kallion päällä, mikä näyttää nostavan kantavuusarvot muita katuja paremmaksi. Samalla osuudet, jotka eivät ole kalliolla tuovat mittaustuloksiin suuren vaihteluvälin. Smirnoffintien mittaustuloksissa ei ole yksittäisiä piikkiarvoja eikä muutenkaan suurta hajontaa. Kadun kantavuusluokitukseksi tulee mittaussarvoilla hyvä.

### 6.1.2 Videokuvaus

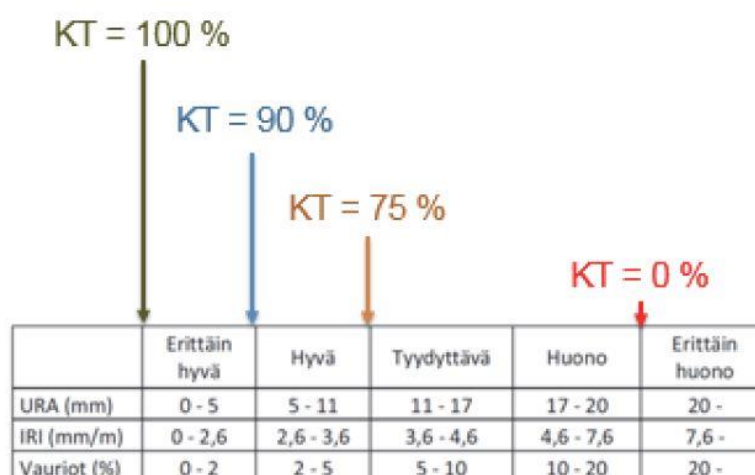
Laserkeilausmittausten yhteydessä kaduista on tehty videokuvaukset. Kuvaukset on tehty jokaisen mittauksen yhteydessä, eli videokuva on molempiin kulkusuuntiin. Useampikaistaisella Kauppapuistikolla videokuvaus on molempiin suuntiin molemmilta kaisoilta. Videokuvausten avulla kohteeseen on mahdollista tutustua mittaussajankohdan mukaisessa tilanteessa ja videon avulla on mahdollista tutustua kohteeseen, jos se ei ole ennestään tuttu. Videokuvasta on myös mahdollista käydä tarkastamassa kohteesta jokin detalji, jos sellainen on tarpeen. Tässä tutkimuksessa videokuvasta on tarkastelu katujen kuntoa mittaussajankohdan aikaan. Esimerkiksi Koulukadulla oli mittausten aikaan katusaneeraustyöt menossa, joten katu oli erilaisessa kunnossa, kuin myöhemmin kohteessa tehdyn maastokäynnin aikana. Kuvassa 64 on esitetty mittausten aikana tehdyn videokuvauksen ja maastokäynnin väliset eroavaisuudet. Kuvan vasemmassa reunassa on pysäytyskuva videokuvasta ja oikeassa reunassa maastokäynnillä otettu valokuva.



**Kuva 64.** Mittaussajankohdan ja maastokäynnin eroavaisuudet. Kuvassa vasemmalla videokuva ja oikealla maastokäynnin aikainen valokuva.

### 6.1.3 Tasaisuustiedot laserkeilausaineistosta

Laserkeilausten kevät- ja kesämittauksista tehtiin IRI- ja URA -tulkinnat. Tulkinnat ja mittausarvot on laskettu ja ilmoitettu 10 metrin välein. Kevätmittausten pääasiallinen käyttötarkoitus on vertailu kesämittauksiin ja routanousun laskeminen, kun taas kesämittausten tuloksista on tehty tarkempaa analysointia ja saatuja tuloksia on vertailtu kuvassa 65 näkyviin arvoihin. Mittaustuloksista saaduista IRI- ja URA -arvoista on laskettu prosentuaalinen kuntotasoarvio, jota on mahdollista verrata korjausvelkalaskimesta saatavaan kuntotasoarvioon. Kuntotasoluokkien välillä kuntotaso on laskettu interpoloimalla mittaustulokset raja-arvojen välillä. Samanlaista laskentatyyppiä on käytetty Vantaalla kuntotasojen määrittämisessä IRI- ja URA -mittaustuloksista [33, s. 19].



**Kuva 65.** IRI- ja URA -mittaustulosten kuntotasovastaavuudet [18, s. 12]

IRI- ja URA -mittausten tuloksista on karsittu pois suurimpia tuloksia, joiden aikana mittauksessa on ollut jotain häiriötä, kuten tietyö, alhainen nopeus tai jokin estevaikutus. Näin aineistosta on poistettu suurimmat häiriöistä aiheutuneet oletettavasti virheelliset mittaustulokset. Jos mittaustulosten aikana on ollut jotain häiriötä, mutta mittauksen arvo on ollut selvästi pienempi kuin suurin häiriötön mittaus, on mittaustulos otettu mukaan analysoitavaan dataan. IRI-tulkinta on tehty mittaussuunnan oikealle ja vasemmalle puolelle molempiin ajosuuntiin. URA-tulkinnissa on molempien ajosuuntien oikea ja vasen ura sekä uran mitattu maksimiarvo.

Kun koko kadun matkalle määritellään yhtä kuntotasoarviota, pitää suuri määrä mittausdataa puristaa yhteen koko katua kuvaavaan arvoon. Kuten kantavuusmittauksissa, myös IRI- ja URA -mittausten tuloksissa on painotettu huonoja mittaustuloksia. Kadun kuntotasoa määritteleväksi mittausarvoksi on tässä tutkimuksessa määriteltävä mittaustulosten jakaumasta yläfraktiilia vastaava arvo. Tällä määrittelyllä käytännössä 75 % mittaustuloksista ovat pienempiä ja 25 % suurempia kuin kadun kuntotasoa määrittelevä arvo. Taulukossa 3 on esitetty tällä määrittelyllä saadut IRI- ja URA -mittausten arvot

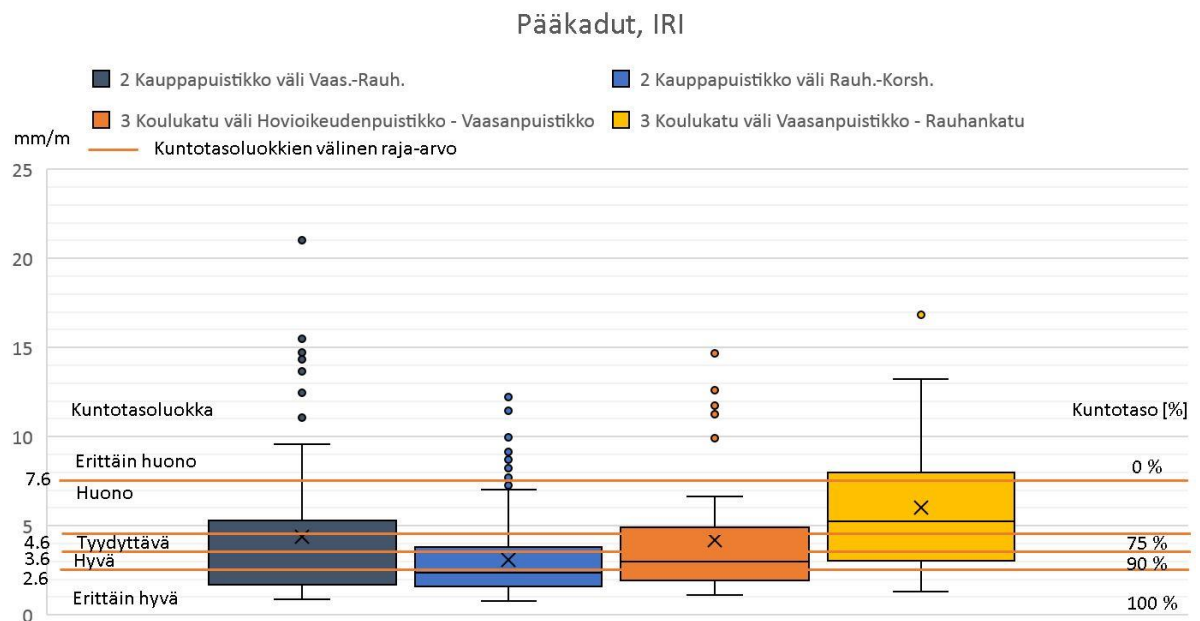
sekä määrittelyarvoa vastaavat kuntotasot. Taulukossa on esitetty vasemmalta alkaen katu tai katuväli, kadun toiminnallinen luokka, optimikuntotaso, mitattu IRI, IRI-mittausta vastaava kuntotaso, mitattu URA ja URA-mittausta vastaava kuntotaso. Kuntotasoprosentit ovat kuvan 65 mukaisten raja-arvojen perusteella interpoloituja arvoja.

**Taulukko 3.** Katujen IRI- ja URA -mittausten määrittelyarvot ja arvoja vastaavat kuntotasot

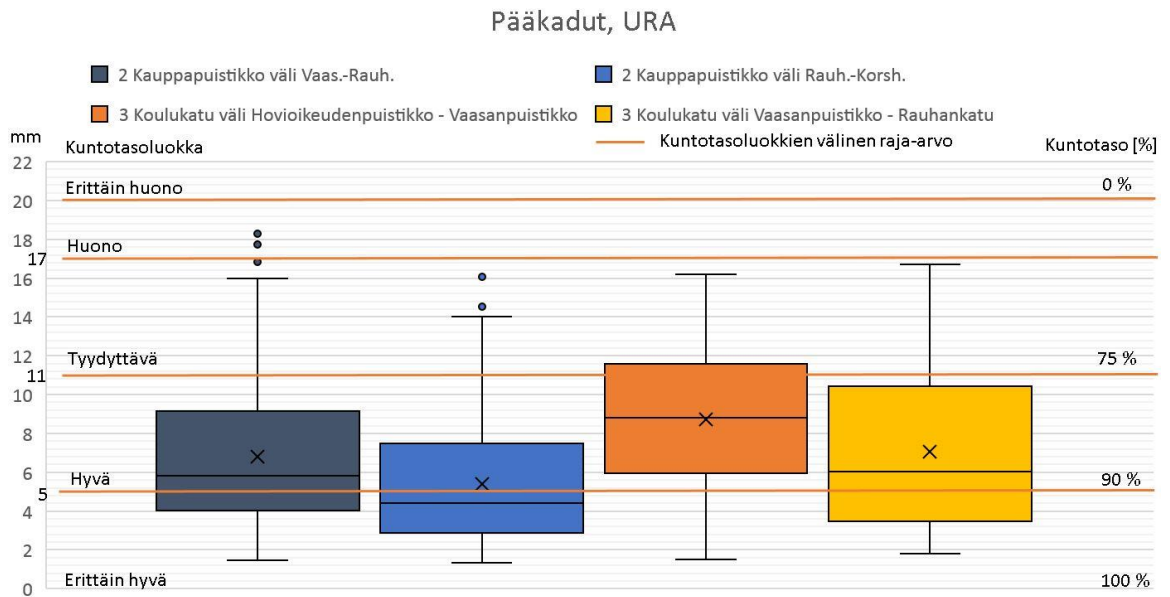
Katu	Toiminnallinen luokka	Optimi-kuntotaso [%]	Mitattu IRI [mm/m]	Kuntotaso IRI [%]	Mitattu URA [mm]	Kuntotaso URA [%]
1. Vanhan Vaasan katu, väli Niittomiehenkatu - Kappelinmäentie	Kokoojakatu	75	5.93	31	15.8	35
1. Vanhan Vaasan katu, väli Kappelinmäentie - Lehtikuusentie	Kokoojakatu	75	2.92	85	18.0	17
2. Kauppapuistikko, väli Vaasanpuistikko - Rauhankatu	Pääkatu	90	5.31	43	9.1	80
2. Kauppapuistikko, väli Rauhankatu - Korsholmanpuistikko	Pääkatu	90	3.81	71	7.5	84
3. Koulukatu, väli Hovioikeudenpuistikko - Vaasanpuistikko	Kokoojakatu	75	4.93	50	11.6	70
3. Koulukatu, väli Vaasanpuistikko - Rauhankatu	Pääkatu	90	8.01	0	10.4	76
4. Sorvarinkatu	Tonttikatu	65	9.62	0	7.3	84
5. Sepänkatu	Tonttikatu	65	5.98	30	5.7	88
6. Jyrsijänkatu	Tonttikatu	65	5.78	34	5.4	89
7. Pitkänevantie	Tonttikatu	65	8.50	0	10.5	76
8. Uuspellontie	Tonttikatu	65	8.35	0	9.3	79
9. Talkootie	Tonttikatu	65	7.61	0	10.3	77
10. Hellaksentie	Tonttikatu	65	6.55	20	4.4	91
11. Smirnoffintie	Tonttikatu	65	8.54	0	18.8	10
12. Liisanlehdontie	Tontti-/teollisuuskatu	65	8.20	0	12.9	60
13. Kaarlentie	Tontti-/teollisuuskatu	65	5.40	41	6.6	86
14. Mäntymaantie	Kokoojakatu	75	4.14	65	10.2	77
15. Rajarinne	Kokoojakatu	75	3.05	83	9.7	78

Pääkaduilla URA-arvot ovat parempia kuin IRI-arvot. Kauppapuistikolla välillä Rauhankatu - Korsholmanpuistikko mittausten erot ovat reilusti pienempiä kuin välillä Vaasanpuistikko - Rauhankatu. Videokuvausten perusteella ensiksi mainitulla välillä on uudempi asfaltti, jonka pinta ei ole vielä ehtinyt kulua ja erot ovat pysyneet pienempinä. Kokoojakaduilla IRI- ja URA -arvot ovat pääsääntöisesti lähellä toisiaan. Poikkeuksena Vanhan Vaasan kadun väli Kappelinmäentie - Lehtikuusentie, jolla URA-arvo on reilusti heikompi. Koulukadulla, etenkin välillä Vaasanpuistikko - Rauhankatu, IRI-arvot ovat heikompia, mutta kadulla oli mittausten aikaan saneeraustyöt menossa, jotka voivat vääristää tuloksia. Tonttikaduilla IRI-arvot ovat säännöllisesti huonommat kuin URA-arvot. Tonttikaduilla liikennekuormitus ei ole sen mukaista, joka aiheuttaisi suurta urautumista katujen pintaan.

Pääkatujen IRI-mittausten tulokset on esitetty kuvassa 66 ja URA-mittausten tulokset kuvassa 67. Koulukadun väli Hovioikeudenpuistikko - Vaasanpuistikko on kantavuusmittausten tapaan esitetty pääkatujen tulosten yhteydessä. Kuvien mittaustuloksia kuvaavissa diagrammeissa on esitetty mitatut minimi- ja maksimi- ja arvot diagrammien ylä- ja alareunassa menevillä poikkiviivoilla. Joillain kaduilla mittaustuloksissa on yksittäisiä piikkiarvoja, jotka näkyvät yksittäisinä pisteinä diagrammien yläpuolella. Diagrammin leveän osuuden yläreuna kuvastaa mittaustuloksista yläkvartiilia ja alareuna alakvartiilia. Leveän osuuden yläpuolella on 25 % suurimmista mittaustuloksista ja alapuolella on 25 % pienimmistä mittaustuloksista. Leveän osuuden yläreuna kuvastaa kadulle määriteltyä IRI- tai URA -arvoa. Oranssit poikittaiset viivat kuvastavat kuntotasoluokkien välisiä raja-arvoja.



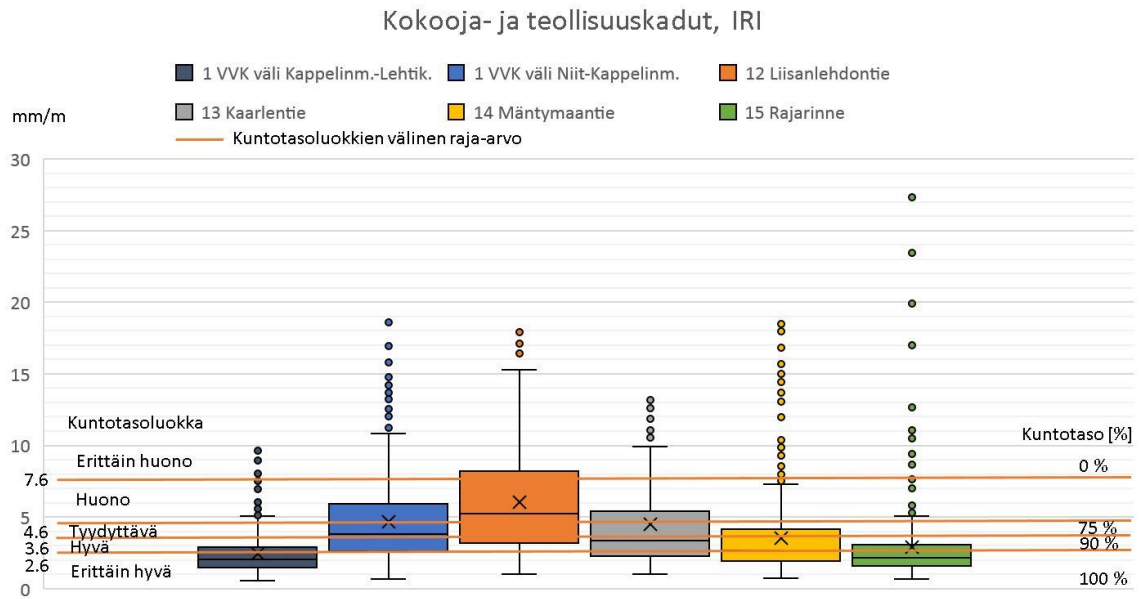
**Kuva 66. Pääkatujen IRI-mittausten tulokset**



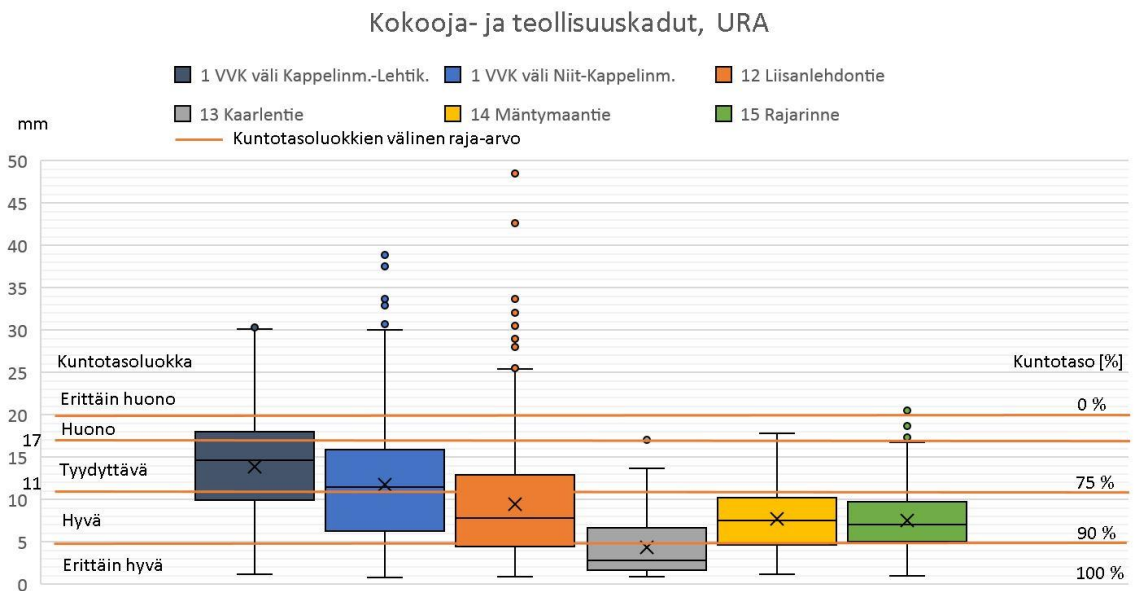
**Kuva 67.** Pääkatujen URA-mittausten tulokset

Pääkaduista Kauppapuistikon välillä Rauhankatu - Korsholmanpuistikko IRI-arvojen hajonta on pienempää kuin muilla katuosuuksilla. URA-arvojen hajontavälit Kauppapuistikolla sen sijaan ovat lähellä toisiaan. Koulukadun mittauksissa hajontavälit IRI- ja URA-arvoissa on suurempaa kuin Kauppapuistikolla. Kokooja- ja teollisuuskatujen mitaustulokset on esitetty kuvissa 68 ja 69. Vanhan Vaasan kadulla välin Kappelinmäentie - Lehtikuusentie IRI-arvot ovat paremmat kuin välillä Niittomiehenkatu - Kappelinmäentie. URA-arvot sen sijaan ovat päinvastaiset. Väli Kappelinmäentie - Lehtikuusentie on paljon paremmassa kunnossa olevan näköinen ja kadun muoto on pysynyt hyvänä. Kadulle on syntynyt kuormituksessa enemmän selkeitä uria, kun välillä Niittomiehenkatu - Kappelinmäentie koko kadun kunto on heikentynyt ja urat eivät erotu niin selkeästi. Mäntymaantiellä ja Rajarinteessä arvot ovat lähellä toisiaan molemmissa mittauksissa. Rajarinteessä arvot ovat hieman parempia, mikä johtunee kadun kolme vuotta myöhemmästä rakennusajankohdasta sekä paremmasta pohjamaaluokasta. Kaarlentien ja Liisanlehdontien vertailussa Kaarlentien arvojen hajontavälit ovat pienempiä ja arvot ovat parempia.



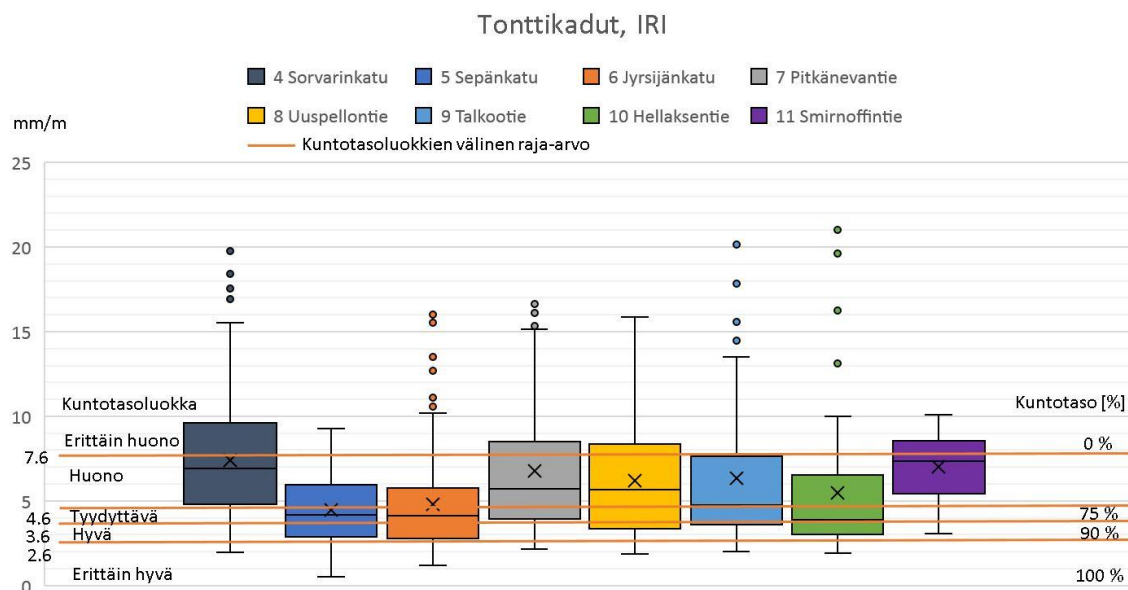


**Kuva 68.** Kokooja- ja teollisuuskatujen IRI-mittausten tulokset

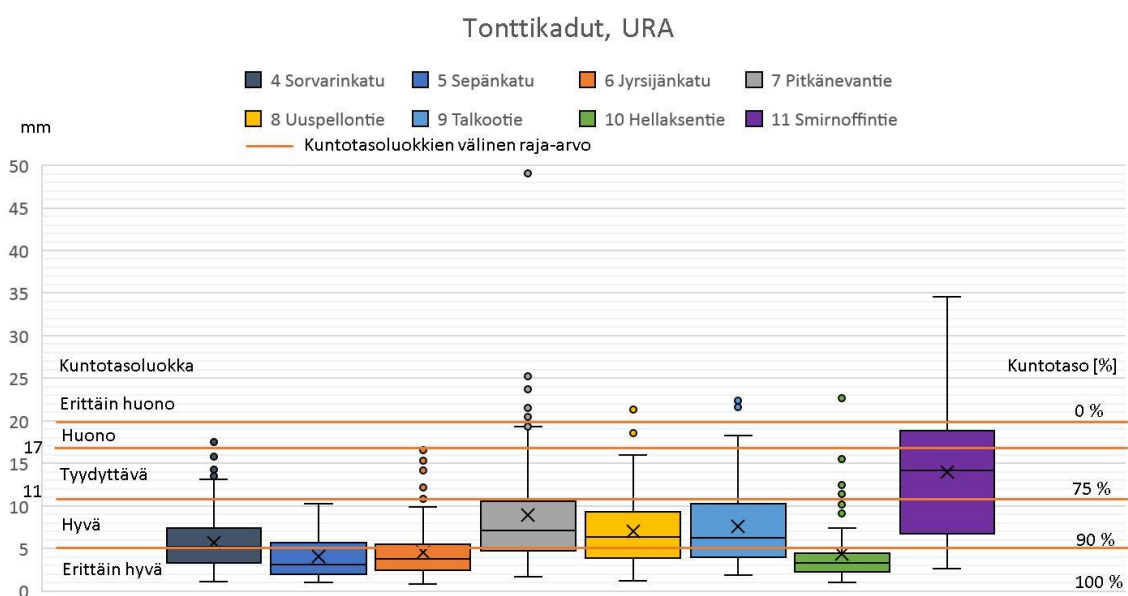


**Kuva 69.** Kokooja- ja teollisuuskatujen URA-mittausten tulokset

Tonttikatujen mittaustulokset on esitetty kuvissa 70 ja 71. Vertailtavina katuryhminä oli Ristinummelta Sorvarinkatu, Sepänkatu ja Gerbystä Jyrsijänpätkä sekä Pitkänevantie, Uuspellontie, Talkootie ja Hellaksentie. Smirnoffintie oli yksittäisenä tutkittavana kohteena. Ristinummen kaduista Sepänkadulla on pienin hajonta IRI-arvoissa. Jyrsijänpätkällä on enemmän yksittäisiä piikkiarvoja, mutta kadun kuntoa määrittelevä mittausarvo on ryhmän paras. URA-arvoissa Sorvarinkadulla on heikoimmat tulokset. Sepänkadun ja Jyrsijänpätkän tulokset ovat lähellä toisiaan, mutta Jyrsijänpätkän kuntoa määrittelevä arvo on ryhmän paras.



**Kuva 70. Tonttikatujen IRI-mittausten tulokset**



**Kuva 71. Tonttikatujen URA-mittausten tulokset**

Gerbyn kaduista Pitkänevantien, Uuspellontien ja Talkootien IRI- ja URA -mittausten tulokset ovat lähellä toisiaan. Hellaksentien IRI-arvot ovat lähellä muiden katujen arvoja, mutta URA-arvot ovat selkeästi paremmat, jopa erittäin hyvät. Smirnoffintien IRI-arvo on erittäin huono ja URA-arvo on huono, lähellä erittäin huonoa. Tutkituista kaduista Smirnoffintie on ainut, jonka molemmat IRI ja URA ovat vähintään huonolla tasolla. Kadun vieressä tehtävät talonrakennustyöt voivat vaikuttaa mittaustuloksiin jonkin verran.

### 6.1.4 Routivuusluokittelu

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli määrittää katujen routivuusluokat roudassa olevan maan ja roudattoman maan laserkeilausmittausten erotuksesta. Tavoitteena oli myös tehdä vertailua mitatun routanousun sekä laskennallisen routanousun välillä. Laskennallisessa routanousussa olisi huomioitu kuvassa 10 näkyvä mitoitusroudansyvyys Vaasassa sekä kuluneen talven pakkasmäärän mukainen laskennallinen routanousu. Laserkeilausaineiston mittausten aikana tallentunut koordinaattitiedosto ei ollut käyttökelpoinen, joten laserkeilausaineistoja ei saatu kohdistettua koordinaatistoon. Tämän seurauksena laserkeilausaineistojen välistä routanousutarkastelua ei voitu tehdä kevään ja kesän mitauksista ja routivuusluokkien määrittelyssä voitiin hyödyntää vain laskennallista routanousua.

Routanousuun vaikuttaa osaltaan talven pakkasmäärä, mikä ei ole talvena 2017 - 2018 ollut erityisen suuri. Talven 2017 - 2018 karkeasti määritelty pakkastuntimäärä on noin 14 000 °Ch, joka on laskettu Ilmatieteen laitoksen aineiston pohjalta [15]. Vaasassa mitoitusroudansyvyys  $S$  on noin 1650 mm, mikä vastaa pakkastuntimääränä noin 18 900 °Ch:ta. Kuluneen talven pakkastuntimäärä oli siis pienempi kuin mitoitusroudansyvyydessä, mikä olisi osaltaan vaikuttanut ja pitänyt huomioida laserkeilauksista lasketuissa routanousuissa.

Laskennallisen routanousun,  $RN_{lask}$ , määrittelyssä käytettiin kaavaa 2. Laskennan lähtötietojen määrittelyssä hyödynnettiin korjausvelkalaskimessa olleita tietoja kaduista. Kadut luokiteltiin katuluokan, päällysteen paksuusluokan ja katurakenteen paksuusluokan perusteella samankaltaisiin ryhmiin. Erilaisia ryhmiä syntyi neljä. Pää- ja kokoojakaduilla oli keskenään samanlaiset luokittelut, joten niistä syntyi kaksi ryhmää. Tonttikaduilla oli eroavaisuutta ainoastaan katurakenteiden paksuusluokissa, joten tonttikaduista syntyi kaksi ryhmää. Taulukossa 4 on esitetty tarkemmin ryhmät ja ryhmissä käytetyt rakennekerrospaksuudet. Taulukon vasemmassa reunassa on esitetty rakenneosa ja yläreunassa on katuluokka sekä suluissa päällysteen paksuusluokka ja katurakenteen paksuusluokka. Sulkujen sisällä ensimmäinen luku kuvaa päällysteen paksuusluokkaa. Taulukossa on esitetty rakennekerrospaksuudet millimetreissä. Poikkeuksina ryhmissä on kokoojakaduksi määritelty Koulukadun osuus sekä teollisuuskadut Liisanlehdontie ja Kaarlentie. Koulukatu laskettiin pääkadun rakennekerroksilla, koska katu sijaitsee kaupungin keskustassa ja teollisuuskaduilla käytettiin metrin paksuisia tonttikadun rakennekerroksia.

**Taulukko 4.** *Rakennekerrospaksuudet eri katuryhmissä*

	Pääkatu (1,2)	Kokoojakatu (1,2)	Tonttikatu (2,2)	Tonttikatu (2,3)
Päällyste	120	110	50	50
Kantava kerros	300	200	150	150
Jakava kerros	500	500	400	300
Suodatinkerros	380	290	400	300
Yhteensä	1300	1100	1000	800

Ryhmässä ”Tonttikadut (2,3)” käytettiin kuvassa 6 esitettyjä Puskantien kivimateriaaleista määritettyjä rakennekerrospaksuuksia. Ryhmässä ”Tonttikadut (2,2)” käytettiin rakennekerrospaksuutena 1,00 metriä. Jakavan kerroksen ja suodatinkerroksen paksuuksia kasvatettiin 0,10 metrillä verrattuna Puskantien rakennekerrokseen. Katurakenteiden paksuusluokan 2 mukaisesti rakenteen paksuus on välillä 1,00...1,50. Kokoojakatujen paksuudeksi on tässä tutkimuksessa määritetty 1,10 metriä. Kerrospaksuuksien määrittämisessä hyödynnettiin kuvassa 4 esitettyjä Itäisen ratakadun kerrospaksuuksia. Pääkatuilla päällysteen paksuutta ja rakennekerrospaksuuksia kasvatettiin hieman kokoojakatujen kerrospaksuuksiin nähden. Kerrosten eristävyyskertoimet määriteltiin Tierakenteen suunnittelu -ohjeessa [62, s. 43] esitettyjen eristävyysarvojen mukaisesti. Rakennekerrospaksuudet ja laskennallinen routanousu olisi mahdollista määrittää myös katukohdaisesti. Rakennekerrospaksuudet voisi selvittää tarkasti maatutkauksella tai tarkistamalla suunnitelmien mukainen rakennekerrospaksuus.

Korjausvelkalaskimesta kaduille saatiin pohjamaaluokka, jonka avulla määriteltiin kuvan 9 mukaisesti katujen pohjamaan routaturpoama-arvot. Laskennallinen routanousu laskettiin mitoituksessa käytettävän roudan syvyyden sekä kuluneen talven pakkasmäärien mukaisilla arvoilla. Tässä tutkimuksessa routivuusluokkien määrittelyssä luokitte luun 1, ei routiva rakenne, kuuluu routanousu välillä 0 - 10 mm. Luokkaan 2, lievästi routiva rakenne, kuuluu routanousu välillä 10 - 50 mm. Luokkaan 3, erittäin routiva rakenne, kuuluu yli 50 mm routanousut. Lisäksi luokitusta voi heikentää pohjamaan vaihtelut ja tästä mahdollisesti aiheutuva epätasainen routanousu katuosuudella. Taulukossa 5 on esitetty katukohdaisesti laskennalliset routanousut ja routivuusluokat. Katujen kohdalla on lisähuomiona, jos kadun kohdalla esiintyy pohjamaan vaihteluita. Pohjamaan vaihtelut on katsottu GTK:n Maankamara-palvelusta [10].

**Taulukko 5.** Laskennallinen routanousu ja routivuusluokat kaduittain

Katu	Pohjamaa- luokka	Päällysteen paksuusluokka	Rakennekerrosten paksuusluokka	Routa- turpoama [%]	Laskennallinen routanousu RNlask (mitoituskäyrät)	Laskennallinen routanousu RNlask (kuluneen talven pakkasmäärä)	Huomioita *)	Routivuus- luokka
1. Vanhan Vaasan katu, väli Niittomiehenkatu - Kappelinmäentie	μG	1	2	6	37.2	23.4	Pohjamaavaihteluja	3
1. Vanhan Vaasan katu, väli Kappelinmäentie - Lehtikuusentie	μF	1	2	6	37.2	23.4	Pohjamaavaihteluja	2
2. Kauppapuistikko, väli Vaasanpuistikko - Rauhankatu	μE	1	2	3	12.9	6.0	-	2
2. Kauppapuistikko, väli Rauhankatu - Korsholmanpuistikko	μE	1	2	3	12.9	6.0	-	2
3. Koulukatu, väli Rauhankatu - Vaasanpuistikko	μE	1	2	3	12.9	6.0	-	2
3. Koulukatu, väli Vaasanpuistikko - Hovioikeudenpuistikko	μE	1	2	3	12.9	6.0	-	2
4. Sorvarinkatu	μF	2	3	6	53.7	39.9	Pohjamaavaihteluja	3
5. Sepänkatu	μF	2	2	6	42.3	28.5	-	2
6. Jyrjäntäkatu	μF	2	3	6	53.7	39.9	Pohjamaavaihteluja	3
7. Pitkännevantie	A	2	3	0	0.0	0.0	Pohjamaavaihteluja	2
8. Uuspellontie	μE	2	3	3	26.9	19.9	-	2
9. Talkootie	μE	2	3	3	26.9	19.9	-	2
10. Hellaksentie	μE	2	3	3	26.9	19.9	-	2
11. Smirnoffintie	μF	2	2	6	42.3	28.5	Pohjamaavaihteluja	3
12. Liisanlehdontie	μE	2	3	3	21.2	14.2	Pohjamaavaihteluja	3
13. Kaarlenie	μE	2	3	3	21.2	14.2	-	2
14. Mäntymaantie	μG	1	2	6	37.2	23.4	Pohjamaavaihteluja	2
15. Rajarinne	A	1	2	0	0	0.0	Pohjamaavaihteluja	1

Routivuusluokka 1 = Ei-routiva rakenne 2 = Lievästi routiva rakenne 3 = Erittäin routiva rakenne

\*) Maaperätietoja ja maalajien vaihtuvuutta kadun kohdalla katsottu GTK:n maankamara-palvelusta

Kuluneen talven pakkasmäärillä minkään kadun routivuusluokka ei olisi käytettyjen määrittelyjen mukaisesti luokassa 3. Mitoitusarvoilla laskiessa Sorvarinkadun ja Jyrjäntäkadun routanousu ylittää 50 mm ja täten katujen routivuusluokka on 3. Pohjamaan vaihteluja oli Vanhan Vaasan kadun molempien osuuksien kohdalla ja näiden lisäksi seitsemällä kadulla. Pohjamaan vaihtelun vaikutusten arvioinnissa tarkasteltiin, onko vaihtelua vain yhdessä vai useammassa kohdassa, mitä maalajeja on kyseessä ja onko vaihtelut kadun suuntaisesti vai kohtisuorasti katua vasten. Lisäksi arvioinnissa hyödynnettiin maastokäynneillä tehtyjä huomioita katujen kunnosta. Näiden arvioiden perusteella routivuusluokkaa heikennettiin luokasta 2 luokkaan 3 Vanhan Vaasan kadun välillä Niittomiehenkatu - Kappelinmäentie, Smirnoffintiellä ja Liisanlehdontiellä. Pitkännevantkadulla luokkaa heikennettiin luokasta 1 luokkaan 2.

Kaduista ainoastaan kalliolla olevan Rajarinteen routivuusluokaksi tulee näillä tutkimuksilla ja määrittelyillä 1. Myös Rajarinteen alla oli pohjamaan vaihtelua kallion ja hiekkamoreenin välillä. Katu kuitenkin oli hyväkuntoisen näköinen, joten routivuusluokkaa ei koettu tarpeelliseksi alentaa. Kauppapuistikolla ja Koulukadulla laskennallinen routanousu on vain 2,9 mm suurempi kuin routivuusluokan 1 raja-arvo. Rakennekerrosten tarkalla määrittämisellä kadun routivuusluokka voisi olla 1 tai mahdollisesti selkeämmin luokassa 2. Routivuusluokkien 1 ja 2 eroa Kauppapuistikolla ja Koulukadulla on tarkasteltu luvussa 6.2.1.

### 6.1.5 Kuivatusluokat

Katujen kuivatusluokat on määritetty maastokäyntien aikana tehtyjen havaintojen perusteella. Kuivatusluokkien määrittelyssä on huomioitu vain rakenteen pintakuivatus. Rakenteen syväkuivatukseen ei ole otettu kantaa, koska kohtuullisella työmäärällä ei ole mahdollista selvittää onko rakenteissa vettä, onko siellä salaojat, toimivatko salaojat,

toimivatko ojat ja mihin toimivat ojat vievät veden. Tällaiset asiat olisi mahdollista selvittää, mutta kuivatusluokka on vain yksi korjausvelkalaskimen tietotason 3 parametreista, joten asioiden selvittämiseen käytettävä aika ei ole kustannusten kannalta hyödyllistä ajankäyttöä. Syväkuivatuksen toimivuuden tarkastelu tulee ajankohtaiseksi tilanteessa, kun kadun saneeraus on lähempänä.

Katujen kuivatusluokat määriteltiin korjausvelkalaskimen ohjeiden mukaisesti Liikenneviraston ohjetta [53] hyödyntäen. Liikenneviraston ohjeessa luokittelut on tehty teille, mikä osaltaan hankaloitti kuivatusluokkien määrittelyä etenkin reunakivellisissä poikkileikkauksissa. Kuivatusluokkien määrittelyssä hyödynnettiin paljon ohjeen sanallisia selityksiä. Kaduista tarkasteltiin kadun muotoa ja veden virtausmahdollisuuksia. Muodoissa huomioitiin kadun kaatosuunnat, reunapalteet, mahdolliset painanteet ja oliko kohtia, joihin vesi jää seisomaan. Virtausmahdollisuuksista tarkasteltiin, pääseekö vesi valumaan kuivattavaan rakenteeseen, kuten kaivoon tai sivuojaan. Tarkastelut tehtiin katujen ajoradoille ja jalankulku- ja pyörävyylät jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Taulukossa 6 on esitelty kaduille maastokäyntien aikana tehtyjen havaintojen pohjalta määritellyt kuivatusluokat. Vain kolmella kadulla kuivatusluokaksi oli mahdollista määrittää luokka 1. Osalla kaduista pintakuivatus ei selkeästi toiminut ja kadut kuuluivat luokkaan 3. Osalla kaduista poikkileikkaus saattoi olla oikean muotoinen, mutta esimerkiksi kaivovälit olivat erittäin pitkät tai ojat puuttuivat.

**Taulukko 6.** Katujen kuivatusluokat

Katu	Kuivatusluokka
1. Vanhan Vaasan katu, väli Niittomiehenkatu - Kappelinmäentie	3
1. Vanhan Vaasan katu, väli Kappelinmäentie - Lehtikuusentie	2
2. Kauppapuistikko, väli Vaasanpuistikko - Rauhankatu	2
2. Kauppapuistikko, väli Rauhankatu - Korsholmanpuistikko	2
3. Koulukatu, väli Rauhankatu - Vaasanpuistikko	1
3. Koulukatu, väli Vaasanpuistikko - Hovioikeudenpuistikko	2
4. Sorvarinkatu	3
5. Sepänkatu	3
6. Jyrsijänkatu	2
7. Pitkännevantie	3
8. Uuspellontie	2
9. Talkootie	3
10. Hellaksentie	3
11. Smirnoffintie	3
12. Liisanlehdontie	3
13. Kaarlentie	2
14. Mäntymaantie	1
15. Rajarinne	1

Kuivatusluokkaan 1 kuului Koulukadun väli Rauhankatu - Vaasanpuistikko, Mäntymaantie ja Rajarinne. Koulukadulla ja Rajarinteellä on reunakivelliset poikkileikkaukset, joissa molemmissa kaivovälit olivat riittävän tiheät, kaduilla oli kaltevuutta ja pinnassa ei näkynyt kohtia, joihin vesi jäisi seisomaan. Mäntymaantiella on sivuojallinen poikkileikkaus, jossa kadun pinnan kaltevuudet olivat ojan suuntaan ja katu oli säilyttänyt muotonsa hyvin. Kuvassa 72 on esitetty kuivatusluokkaan 1 kuuluvat kadut. Kuvassa vasemmalla on näkymä Mäntymaantieltä ja oikealla näkymä Rajarinteeltä. Jalankulku- ja pyöräilyliikenteen kuivatus ei ole niin hyvässä kunnossa kuin ajoradoilla.



**Kuva 72.** Mäntymaantie (vasen) ja Rajarinne (oikea)

Kuivatusluokkaan 2 määritetyistä kaduista Uuspellontiellä on sivuojallinen poikkileikkaus. Kaarlentiellä ei ollut reunakiviä, mutta ei ojiakaan. Kadulla on muutamia kaivoja ja jirejä, jotka auttavat kuivatuksessa. Muilla luokkaan 2 kuuluvilla kaduilla on reunakivellinen poikkileikkaus. Lähes kaikilla reunakivellisillä kaduilla kaivovälit ovat pitkät ja kaivoväleillä on painumia tai muodonmuutoksia, jotka estävät veden virtauksen. Uuspellontiellä ojien reunoilla oli reunapalsteita, jotka estävät veden virtausta ja minkä seurauksena kadun kuivatusluokka on 2. Kuvassa 73 on kuvia kuivatusluokkaan 2 kuuluvilta kaduilta. Kuvissa katujen poikkileikkaukset ovat pääasiassa hyvän muotoisia, mutta kuivatuksen kannalta pieniä puutteita on havaittavissa. Kuivatuspuutteena esimerkiksi ylärivissä keskellä reunakivien kulmassa olevassa kohdassa olisi kaivon paikka.





**Kuva 73.** Kuivatusluokan 2 katuja. Ylärivissä: vasemmalla Jyrsijänkatu, muut kuvat Kauppapuistikolta. Alarivissä: vasemmalla Vanhan Vaasan katu, keskellä Kaarlentie, oikealla Uuspellontie.

Kuivatusluokkaan 3 määritetyillä kaduilla oli usein selkeitä kuivatuspuutteita. Vanhan Vaasan kadulla, Sorvarinkadulla ja Sepänkadulla on reunakivellinen poikkileikkaus, Smirnofintieellä on reunakivi toisella puolella katuja, ja Liisanlehdontieellä on reunakivi osittain. Loput kadut ovat sivuojaalisia katuja. Suurimmat ja yleisimmät kuivatuspuutteet olivat poikkileikkauksen muodossa. Kadut saattoivat olla tasaisia ja viettosuunnat eivät olleet pois kadulta eikä ojiin. Kuvassa 74 on esitetty kuivatusluokkaan 3 kuuluvia katuja. Kuvissa kadut ovat halkeilleita ja kaduilla on selkeitä kohtia, joista vesi ei pääse pois. Kaikkien katujen kuivatusluokan perustelu ja analysointi on esitetty liitteessä B.



**Kuva 74.** Kuivatusluokkan 3 kuuluvia katuja. Vasemmalla Vanhan Vaasan katu, keskellä Liisanlehdontie ja oikealla Sorvarinkatu.

### 6.1.6 Vertailtavien katujen mittau tulosten väliset erot

Tutkittavia katuja valitessa osa kaduista oli Vaasan kaupungin pitämän korjaustarpeessa olevien katujen listalla. Tutkimukseen valittiin listalta valituille kaduille sopivia vertai-

lukatuja, jotta voitaisiin selvittää ovatko asukkailla tai kunnossapidolta tulleet kommentit yhtenevässä linjassa katujen todellisen kunnon kanssa. Taulukossa 1 esiteltiin tutkimuksissa olevat kadut sekä keskenään vertailtavat kadut. Koska kaduille tehtyä laserkeilausaineistoa ei saatu hyödynnettyä routanousun laskennassa, niin kaduille ei ole tehty routanousujen välistä tarkempaa vertailua. Laskentakaavan mukaisella määrittelyllä katujen välille ei synny todellisuudessa tapahtuvaa mitattavaa eroa routanousujen välillä. Tämän seurauksena routivuuden vertailu on tehty luvussa 6.1.4 määriteltyjen routivuusluokittelujen välillä.

Vanhan Vaasan katu ja Smirnoffintie ovat korjaustarpeessa olevien katujen listauksessa, mutta näille kaduille ei ollut tässä tutkimuksessa sopivia vertailukatuja. Kauppapuistikko ja Koulukatu sekä Mäntymaantie ja Rajarinne olivat katupareja, joiden välillä tehtiin vertailua. Mikään näistä kaduista ei kuitenkaan ollut mukana korjaustarpeessa olevien katujen listalla. Kauppapuistikon IRI- ja URA -arvot olivat parempia kuin Koulukadulla, mikä osittain oli seurausta Koulukadulla olleista katusaneeraustöistä. Kauppapuistikolla oli myös parempi kantavuus kuin Koulukadulla. Kuivatusluokka sen sijaan on Koulukadulla osittain parempi tai vähintään sama kuin Kauppapuistikolla. Katujen routivuusluokat ovat samoja. Mäntymaantien ja Rajarinteen vertailussa suurimmat erot tulivat katujen kantavuudessa ja routivuusluokassa, mikä oli pohjamaaluokan perusteella tehtyjen lähtöoletusten mukainen tulos. Rajarinteen pohjamaaluokka on A, kun Mäntymaantiella se on  $\mu$ G. Rajarinteen IRI- ja URA-arvot olivat vain hieman parempia ja katujen kuivatusluokat olivat samat. Taulukossa 7 on esitetty Kauppapuistikon ja Koulukadun sekä Mäntymaantien ja Rajarinteen tutkimustulokset.

**Taulukko 7.** Kauppapuistikon ja Koulukadun sekä Mäntymaantien ja Rajarinteen tutkimustulosten vertailu

	2 Kauppapuistikko, väli Vaasanpuistikko - Rauhankatu	2 Kauppapuistikko, väli Rauhankatu - Korsholmanpuistikko	3 Koulukatu, väli Hovioikeudenpuistikko - Vaasanpuistikko	3 Koulukatu, väli Vaasanpuistikko - Rauhankatu		14 Mäntymaantie	15 Rajarinne
IRI	5,31	3,81	4,93	8,01		4,14	3,05
URA	9,1	7,5	11,6	10,4		10,2	9,7
Kantavuus	470	524	402	369		249	344
Routivuusluokka	2	2	2	2		2	1
Kuivatusluokka	2	2	2	1		1	1

Jyrsijänkatu valikoitui vertailukaduksi korjaustarpeessa oleville Sorvarinkadulle sekä Sepänkadulle. Katujen tutkimustulosten vertailu on esitetty taulukossa 8. Vertailukatuna olevan Jyrsijänkadun IRI- ja URA -arvot sekä kuivatusluokka ovat parempia kuin Sorvarinkadulla ja Sepänkadulla. Sepänkadulla mitattu kantavuus on parempi kuin Jyrsijänkadulla, mutta molemmat kantavuudet kuuluvat kantavuusluokkaan 1, eli kantavuus on hyvä. Sorvarinkadulla kantavuus on heikompi, ja kantavuusluokka on 2 eli riittävä. Sepänkadulla routivuusluokka on parempi kuin Sorvarinkadulla ja Jyrsijänkadulla. Sepänkadulla on parempi katurakenteen paksuusluokka ja kadulla ei ole pohjamaan vaihteluita, jotka vaikuttaisivat luokitukseen. Mittaustulosten perusteella Sepänkatu ja Jyrsi-

jänkatu ovat keskenään lähes samassa kunnossa ja molemmat ovat paremmassa kunnossa kuin Sorvarinkatu. Jyrsijänkatua ei ole tarpeen saneerata ennen kahta muuta katua.

**Taulukko 8.** Sorvarinkadun, Sepänkadun ja Jyrsijänkadun tutkimustulosten vertailu

	4 Sorvarinkatu	5 Sepänkatu	6 Jyrsijänkatu
IRI	9,62	5,98	5,78
URA	7,3	5,7	5,4
Kantavuus	210	293	276
Routivuusluokka	3	2	3
Kuivatusluokka	3	3	2

Hellaksentie valikoitui Pitkänevantien, Uuspellontien ja Talkootien vertailukaduksi. Katujen tutkimustulosten vertailu on esitetty taulukossa 9. Hellaksentien IRI- ja URA-arvot olivat selvästi parempia kuin vertailukaduilla. Sen sijaan kantavuus oli kaikkein heikoin Hellaksentiellä. Uuspellontien pintakuivatus toimi parhaiten ja kadun kuivatusluokka on 2, kun muiden katujen kuivatusluokka on 3. IRI- ja URA -arvojen perusteella Hellaksentie on paremmassa kunnossa kuin vertailukadut. Muita arvoja vertailemalla kadun kantavuus on selvästi heikompi kuin muilla kaduilla, kuivatus on samaa tasoa ja kaikkien katujen routivuusluokka on 2. Tutkimusten perusteella Hellaksentie on kantavuutta lukuun ottamatta vähintään samassa, jopa paremmassa kunnossa kuin vertailukadut. Hellaksentie on päättävä tonttikatu, joten liikennemäärät kadulla eivät ole suuria ja kadulla kulkeva raskaan liikenteen määrä rajoittunee satunnaisiin kuorma-autoihin. Täten kadun heikko kantavuus ei aiheuta niin suuria ongelmia, mitä se aiheuttaisi raskaammin kuormitetulla katuosuudella.

**Taulukko 9.** Pitkänevantie, Uuspellontie, Talkootien ja Hellaksentien tutkimustulosten vertailu

	7 Pitkänevantie	8 Uuspellontie	9 Talkootie	10 Hellaksentie
IRI	8,50	8,35	7,61	6,55
URA	10,5	9,3	10,3	4,4
Kantavuus	342	266	296	174
Routivuusluokka	2	2	2	2
Kuivatusluokka	3	2	3	3

Kaarlentie vastasi iältään ja muilta ominaisuuksiltaan parhaiten Liisanlehdontietä, joten kadut valikoituivat keskenään vertailtaviksi kaduiksi. Katujen tutkimustulokset on esitetty taulukossa 10. Kaarlentiellä kaikki mittaustulokset ovat parempia kuin Liisanlehdontiellä. Mittaustulosten mukaisesti Liisanlehdontie ei ole enää kovin hyvässä kunnossa. Kuivatus- ja routivuusluokka ovat 3, eli huonoin mahdollinen, kantavuus on hieman yli riittävän tason ja kadun IRI-arvot vastaavat erittäin huonoa kuntoa. Kaarlentiellä IRI-arvo on luokassa huono, kuivatus- ja routivuusluokka ovat 2, eli kadulla on kuivatus-

puutteita ja katu on lievästi routiva. Kadun kantavuus ja URA-mittausten tulokset ovat hyvällä tasolla. Mittaustulosten ja katujen välisen vertailun perusteella Liisanlehdontie on selvästi heikommassa kunnossa ja kadun tulee olla korjaustarpeessa olevien katujen listalla.

**Taulukko 10.** *Liisanlehdontien ja Kaarlentien tutkimustulosten vertailu*

	12 Liisanlehdontie	13 Kaarlentie
IRI	8,20	5,40
URA	12,9	6,6
Kantavuus	255	290
Routivuusluokka	3	2
Kuivatusluokka	3	2

Kaduilla tehtyjä tutkimustuloksia tarkastelemalla voidaan todeta, että tässä tutkimuksessa mukana olleista kaduista korjaustarpeessa olevien katujen listalla olevat kadut ovat huonokuntoisempia kuin lähiympäristössä olevat vertailukadut, jotka eivät ole listalla. Tämän tutkimuksen otos on kuitenkin pieni, joten tuloksia ei voi pitää yleispätevinä. Tutkimustulosten tulokinnassa tulee myös huomioida, että kaikista kaupungin huonokuntoisista kaduista ei ole tullut palautetta. Jotkin kadut saattavat siis olla vielä huonommassa kunnossa kuin korjaustarpeen listalla olevat kadut.

## 6.2 Tutkimustulosten vaikutus korjausvelkalaskentaan

Tehdyillä tutkimuksilla on mahdollista täydentää korjausvelkalaskimen laskentatietoja ja täten myös laskentaa. Tarkemmat laskentatulokset voivat tarkoittaa pienempää, suurempaa tai samaa korjausvelan määrää. Tutkimuksilla on myös mahdollista verrata korjausvelkalaskimen ja todellisen tilanteen eroja, eli onko korjausvelkalaskimen tulokset yhtenevässä linjassa tutkimusaineiston kanssa. Korjausvelkalaskimessa Koulukadun jaotteluvälit eivät vastaa tutkimuksissa käytettyä jaotteluväliä. Laskimen jaotteluvälit ovat pidempiä kuin tutkimuksessa mukana olleet välit. Tämä ei kuitenkaan vaikuta korjausvelkalaskimen tai tutkimustulosten kuntotasoarvioon tai korjausvelkaprosenttiin, vaan ainoastaan korjausvelkalaskimen rahalliseen korjausvelkasummaan.

### 6.2.1 Tutkimustulosten vaikutukset korjausvelkalaskimella tehtyyn laskentaan

Korjausvelkalaskimella voidaan laskea korjausvelka kolmella eri tarkkuudella. Tarkkuuksia kuvataan suppeaksi, laajennetuksi ja tarkimmaksi laskennaksi. Suppeassa laskennassa on käytössä vain ensimmäisen tietotason tiedot. Laajennetussa eli toiseksi tarkimmassa laskennassa on käytössä kahden ensimmäisen tietotason tiedot. Tarkimmassa laskennassa on käytössä kaikkien tietotasojen tiedot.



Korjausvelkalaskimen laajennetulla laskennalla valittujen 15 kadun yhteenlaskettu korjausvelka on 3 861 012 €. Tarkimmalla laskennalla katujen korjausvelaksi tulee 3 986 905 €. Korjausvelkaa on noin 126 000 € enemmän. Kuvassa 75 on esitetty korjausvelkalaskelman tarkimman laskelman raportti. Verrattuna kuvassa 57 esitettyyn toiseksi tarkimman laskelman raporttiin, pää- ja kokoojakatujen kuntotasoarviot ovat tippuneet kaksi prosenttiyksikköä ja tonttikaduilla yhden prosenttiyksikön. Korjausvelan määrä on noussut samassa suhteessa. Korjausvelkasumman muutokset ovat suoraan verrannollisia katujen uudisarvoon, joten tällä otannalla suurin muutos on tapahtunut kokoojakaduilla.

RAPORTOINTI					
Kohdetyyppi	Uudisarvo	Arvopainotteiset keskiluvut			kv-summa
		opt. k-taso	kt-arvio	korj.v.-%	
Pääkatu	1 951 742 €	90	47	43 %	832 062 €
Kokoojakatu	4 419 228 €	75	28	47 %	2 071 944 €
Tonttikatu	1 896 794 €	65	8	57 %	1 082 899 €
A1 Edustuspuisto	-	-	-	-	-
A2 Käyttöpuisto	-	-	-	-	-
A3 Käyttö- ja suojaviheralue	-	-	-	-	-
A3 + puu	-	-	-	-	-
Yhteensä	8 267 764 €				3 986 905 €

**Kuva 75. Korjausvelkalaskimen raportti, tarkin laskelma**

Kuvassa 76 on esitetty katukohtaisesti erot tarkimman ja toiseksi tarkimman eli laajennetun laskennan välillä. Kaduista ainoastaan Rajarinteen korjausvelkasumma on pienempi tarkimmalla laskennalla. Rajarinteen kuivatus-, kantavuus- ja routivuusluokat olivat luokassa 1, joten kadulle saattoi odottaakin korjausvelan pienenemistä. Kadun kuntotaso nousi kahdeksan prosenttiyksikköä. Vanhan Vaasan kadun välillä Niittomiehenkatu - Kappelinmäentie kaikki tarkimman tason luokittelut olivat luokassa 3. Katu on vanha ja jo toiseksi tarkimmalla, laajennetulla, laskennalla kadun kuntotaso on alhainen. Korjausvelkaprosenttina laskentojen väliseksi eroksi tulee vain yksi prosenttiyksikkö. Pääkaduksi luokitellulla Kauppapuistikolla erot ovat vähäiset laskentojen välillä ja korjausvelan rahallinen ero jää alle kahdeksaan tuhanteen. Muiden katujen osalta voi karkeasti arvioida pää- ja kokoojakaduilla erojen olevan muutamia kymmeniä tuhansia ja tonttikaduilla tuhansia. Liisanlehdontiellä ero on noin 10 000 €, mutta katu on yli kilometrin pituinen.

Kohde	Toiminnallinen lk	Laajennettu laskenta			Tarkin laskenta			Korjausvelan ero laskentojen välillä (tarkin = +)
		kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka	kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka	
Vanhan Vaasan katu välillä Niittomiehenk. - Kappelinmäen	Kokoajakatu	5 %	70 %	821 217 €	4 %	71 %	840 295 €	19 078 €
Vanhan Vaasan katu välillä Kappelinmäen - Lehtikuusent	Kokoajakatu	64 %	11 %	121 726 €	62 %	13 %	139 913 €	18 188 €
Kauppapuistikko välillä Vaasanp - Rauhankatu	Pääkatu	69 %	21 %	70 804 €	67 %	23 %	76 833 €	6 029 €
Kauppapuistikko välillä Rauhankatu - Korsholmanp	Pääkatu	43 %	47 %	301 549 €	42 %	48 %	309 055 €	7 507 €
Koulukatu	Kokoajakatu	32 %	43 %	257 626 €	29 %	46 %	278 563 €	20 937 €
Koulukatu välillä Vaasanp - Hietalahdenk	Pääkatu	47 %	43 %	418 742 €	44 %	46 %	446 173 €	27 431 €
Sorvarinkatu	Tonttikatu	5 %	60 %	154 223 €	4 %	61 %	156 882 €	2 659 €
Sepänkatu	Tonttikatu	5 %	60 %	111 122 €	5 %	60 %	112 036 €	914 €
Jyrsijänkatu	Tonttikatu	5 %	60 %	156 948 €	4 %	61 %	158 013 €	1 065 €
Pitkännevantie	Tonttikatu	21 %	44 %	20 956 €	19 %	46 %	21 921 €	966 €
Uuspellontie	Tonttikatu	18 %	47 %	42 538 €	18 %	47 %	42 982 €	443 €
Talkootie	Tonttikatu	20 %	45 %	39 500 €	18 %	47 %	41 255 €	1 755 €
Hellaksentie	Tonttikatu	18 %	47 %	22 270 €	13 %	52 %	24 569 €	2 299 €
Smirnoffintie	Tonttikatu	4 %	61 %	58 190 €	3 %	62 %	58 709 €	519 €
Liisanlehdontie	Tonttikatu	9 %	56 %	290 467 €	7 %	58 %	300 504 €	10 037 €
Kaarlentie	Tonttikatu	12 %	53 %	165 023 €	12 %	53 %	166 029 €	1 006 €
Mäntymaantie	Kokoajakatu	19 %	56 %	656 893 €	16 %	59 %	693 389 €	36 495 €
Rajarinne	Kokoajakatu	36 %	39 %	151 217 €	44 %	31 %	119 784 €	-31 433 €

**Kuva 76.** Tarkimman ja laajennetun laskennan vertailu

Luvussa 6.1.4 Routivuusluokittelu todettiin Kauppapuistikon ja Koulukadun laskennallisen routanousun olevan lähellä routivuusluokkaan 1 vaadittavaa arvoa. Kuvassa 77 on esitetty routivuusluokkien 1 ja 2 väliset erot Kauppapuistikon ja Koulukadun korjausvelkalaskentaan. Kuvassa vasemmalla on laskentatulokset routivuusluokalla 2 ja oikealla on laskentatulokset routivuusluokalla 1. Jos routivuusluokka voidaan määrittää luokkaan 1, niin Kauppapuistikon laskennallinen korjausvelka pienenesi noin 95 000 €. Koulukadun laskennallinen korjausvelka pienenesi noin 116 000 €. Muutokset katujen laskennallisessa korjausvelassa on huomattavat. Myös muutokset kuntotasoarvioissa on huomattavat. Tarkimman ja laajennetun laskennat erot olivat Kauppapuistikolla alle 10 000 € ja Koulukadulla 20 000 - 30 000 € välillä, joten routivuusluokan muutoksella erot laajennettuunkin laskentaan ovat huomattavia.

Kohde	Toiminnallinen lk	Tarkin laskenta			Routivuusluokka 1			Korjausvelan ero laskentojen välillä
		kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka	kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka	
Kauppapuistikko välillä Vaasanp - Rauhankatu	Pääkatu	67 %	23 %	76 833 €	80 %	10 %	34 636 €	-42 197 €
Kauppapuistikko välillä Rauhankatu - Korsholmanp	Pääkatu	42 %	48 %	309 055 €	50 %	40 %	256 514 €	-52 542 €
Koulukatu	Kokoajakatu	29 %	46 %	278 563 €	34 %	41 %	245 103 €	-33 460 €
Koulukatu välillä Vaasanp - Hietalahdenk	Pääkatu	44 %	46 %	446 173 €	53 %	37 %	363 879 €	-82 294 €

**Kuva 77.** Kauppapuistikon ja Koulukadun korjausvelan laskenta paremmalla routivuusluokalla

Rajarinne oli ainut katu, jolla kaikki tietotason 3 luokittelut olivat luokassa 1. Tämän vuoksi kadun tuloksilla on mahdollista vertailla eri lähtötietoparametrien vaikutuksia laskentatulokseen. Kuvassa 78 on esitetty Rajarinteen laskenta tarkimmalla laskentatavalla. Kuvassa vasemmanpuoleiset laskennat ovat alkuperäisen laskennan mukaisia, jossa kaikki luokittelut ovat luokassa 1. Keskimmaisessä laskennassa aina yksi luokittelu on luokassa 2 ja oikeanpuoleisessa laskennassa aina yksi luokittelu on luokassa 3. Kuvasta havaitaan, että routivuusluokalla luokittelu 1 on kaikkein merkitsevin. Ero luokkaan 2 on kaikkein suurin. Myös luokkien 1 ja 3 erotuksessa routivuusluokalla on

kaikkein suurin ero. Kantavuusluokalla on suurin vaikutus luokkien 2 ja 3 välillä. Kuivatusluokalla on tason 3 luokitteluista pienin vaikutus korjausvelkamäärään.

Kohde	Toiminnallinen lk	kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka	kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka	kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka	Korjausvelan ero laskentojen välillä		
		Tarkin laskenta			Kantavuusluokka 2			Kantavuusluokka 3			Luokka 2	Luokka 3	Ero luokkien 2 ja 3 välillä
Rajarinne	Kokoajakatu	44 %	31 %	119 784 €	41 %	34 %	134 134 €	36 %	39 %	151 673 €	14 350 €	31 889 €	17 539 €
		Tarkin laskenta			Kuivatusluokka 2			Kuivatusluokka 3					
Rajarinne	Kokoajakatu	44 %	31 %	119 784 €	42 %	33 %	128 474 €	39 %	36 %	140 639 €	8 690 €	20 855 €	12 166 €
		Tarkin laskenta			Routivuusluokka 2			Routivuusluokka 3					
Rajarinne	Kokoajakatu	44 %	31 %	119 784 €	37 %	38 %	147 715 €	35 %	40 %	157 026 €	27 931 €	37 242 €	9 310 €

**Kuva 78.** Tietotason 3 eri luokittelujen vaikutukset korjausvelkalaskentaan

Saaduilla laskentatuloksilla kokonaisvaikutus 15 kadun otannassa korjausvelan kokonaismäärään oli vain hieman yli 100 000 €, mikä oli kokonaissuuruusluokassa melko vähäinen summa. Luokitusten vaikutusten tarkastelulla havaittiin, että routivuusluokan määrittelyllä on kaikkein suurimmat vaikutukset korjausvelan kokonaislaskentaan. Jos Kauppapuistikon ja Koulukadun routivuusluokan voisi varmuudella määrittää luokkaan 1, niin katujen korjausvelan määrä olisi 3 776 412 € eli korjausvelkamäärä pienenesi noin 85 000 €. Vaikutukset laskentaan tällä otannalla ovat siis satojen tuhansien luokkaa.

## 6.2.2 Tutkimustulosten ja laskimen antaman kuntotasoarvion vertailu

Laserkeilaustutkimusten tuloksista määriteltiin katukohtaisesti IRI- ja URA-arvot ja tuloksia tarkasteltiin luvussa 6.1.3 Tasaisuustiedot laserkeilausaineistosta. Tutkimuksista IRI:n ja URA:n avulla laskettujen kuntotasojen vertailu korjausvelkalaskimen tarkimasta laskennasta saatuihin kuntotasoihin on esitetty kuvassa 79. Kuvassa vasemmalla on korjausvelkalaskimen kuntotasoarvio sekä korjausvelkaprosentti, keskellä tutkimustuloksista saatu kuntotasoarvio sekä korjausvelkaprosentti ja oikealla kuntotasolaskelmien välinen ero. Tutkimuksista määritellyissä kuntotasoissa kuntotasoksi on valittu taulukossa 3 esitetyistä IRI- tai URA -mittauksista huonompi tulos. Kuntotasojen erotuksessa tutkimuksista saadusta tuloksesta on vähennetty korjausvelkalaskimen tulos.



Kohde	Toiminnallinen lk	Korjausvelkalaskin		Tutkimustulokset		Ero kunto- tasoissa [%-yks.]
		kt-arvio	korj.v.-%	Kt-arvio	korj.v.-%	
Vanhan Vaasan katu välillä Niittomiehenk. - Kappelinmäent	Kokoajakatu	4 %	71 %	31 %	44 %	27 %
Vanhan Vaasan katu välillä Kappelinmäent. - Lehtikuusent	Kokoajakatu	62 %	13 %	17 %	58 %	-45 %
Kauppapuistikko välillä Vaasanp - Rauhankatu	Pääkatu	67 %	23 %	43 %	47 %	-24 %
Kauppapuistikko välillä Rauhankatu - Korsholmanp	Pääkatu	42 %	48 %	71 %	19 %	29 %
Koulukatu	Kokoajakatu	29 %	46 %	50 %	25 %	21 %
Koulukatu välillä Vaasanp - Hietalahdenk	Pääkatu	44 %	46 %	0 %	75 %	-44 %
Sorvarinkatu	Tonttikatu	4 %	61 %	0 %	65 %	-4 %
Sepänkatu	Tonttikatu	5 %	60 %	30 %	35 %	25 %
Jyrsijänkatu	Tonttikatu	4 %	61 %	34 %	31 %	30 %
Pitkänevantie	Tonttikatu	19 %	46 %	0 %	65 %	-19 %
Uuspellontie	Tonttikatu	18 %	47 %	0 %	65 %	-18 %
Talkootie	Tonttikatu	18 %	47 %	0 %	65 %	-18 %
Hellaksentie	Tonttikatu	13 %	52 %	20 %	45 %	7 %
Smirnofintie	Tonttikatu	3 %	62 %	0 %	65 %	-3 %
Liisanlehdontie	Tonttikatu	7 %	58 %	0 %	65 %	-7 %
Kaarlentie	Tonttikatu	12 %	53 %	41 %	24 %	29 %
Mäntymaantie	Kokoajakatu	16 %	59 %	65 %	10 %	49 %
Rajarinne	Kokoajakatu	44 %	31 %	78 %	0 %	34 %

**Kuva 79.** Korjausvelkalaskimen ja tutkimustuloksista laskettujen kuntotasojen vertailu

Kuvan tuloksista havaitaan, että tässä tutkimuksessa tehdyillä määrittelyillä korjausvelkalaskimen ja tutkimustulosten kuntotasoarviot poikkeavat toisistaan jokaisen kadun kohdalla. Hellaksentiellä ero on seitsemän prosenttiyksikköä ja tällä kadulla ero on pienin, jos huomioidaan kadut joilla kumpikaan kuntotaso ei ole nolla. Muut alle 20 prosenttiyksikön erot ovat kaduilla, jotka ovat korjausvelkalaskimen laskennan mukaan erittäin huonossa kunnossa ja joilla on tutkimustuloksista määritelty kuntotasoksi nolla.

Tuloksista ei ole havaittavissa selkeää linjaa siitä, onko arvioitu kuntotaso parempi korjausvelkalaskimen vai tutkimusten tuloksissa. Koska mukana olleista 15 kadusta kolme on jaettu korjausvelkalaskimessa osiin, niin tarkasteltavia katuosuuksia on yhteensä 18. Katuosuudet menevät tasan puoliksi, kun tarkastellaan katukohtaisista kuntotasoarvioista kumpi arviointimenetelmä antaa paremman kuntotason. Tutkimustuloksissa kuitenkin Koulukadulla oli katusaneeraustöitä, jotka ovat vaikuttaneet tutkimustuloksiin. Ilman saneeraustöitä tulokset voisivat olla erilaiset kuntotasojen välinen ero voisi olla pienempi.

Tasaisuusmittaukset kertovat kadun kunnan päällysteen tasaisuudesta mitattujen arvojen avulla. Näin ollen IRI- ja URA-mittauksista saadut tulokset kuvastavat enemmän rakenteen pinnan kuntotasoa. Rakennekerrosten kunnan heikkeneminen ei näy tuloksissa, ellei kunnan heikkeneminen vaikuta selvästi kadun pintarakenteisiin. Vauriosumman laskenta ja kuntotason määrittäminen vauriosumman avulla voisi antaa paremman kuvan myös katurakenteen kunnosta. Korjausvelkalaskimen laskennassa on huomioitu koko katurakenteen kunto, toisin kuin tasaisuusmittauksista tehdyissä laskennoissa. Laskentatuloksia vertailemalla verrataan pinnan kuntoa koko rakenteen kuntoon, mikä voi osit-

tain antaa vääristyneitä tuloksia. Kuvassa 79 ilmenneet eroavaisuudet kuntotasoissa voivat olla seurausta laskentatapojen periaate-erosta.

Tutkimustuloksista voidaan havaita, onko kadulla ongelma pituussuuntainen tasaisuus vai urautuneisuus ja kantavuusmittauksilla havaitaan, onko kadulla kantavuuspuutteita. Tutkimustulosten tarkemmalla analysoinnilla havaitaan, että Koulukadulla on hyvä kantavuus ja tasaisuusmittausten mukainen kuntotaso olisi parempi eriaikaisella mittauksella. Kauppapuistikon välillä Vaasanpuistikko - Rauhankatu kadun kantavuus on hyvä, mutta tasaisuudessa on suurimmat ongelmat. Vanhan Vaasan kadun välillä Kappelinmäentie - Lehtikuusentie kantavuudet ja pituussuuntainen tasaisuus olivat hyviä, ja ongelmat olivat uraisuudessa. Esimerkiksi Kauppapuistikolla ja Vanhan Vaasan kadun välillä uudelleen asfaltoinnilla katujen kuntotasot paranisivat reilusti ja tutkimustulosten ja korjausvelkalaskimen antamat kuntotasoarviot olisivat lähempänä toisiaan.

Tutkimuksilla ja maastokäynneillä havaitaan myös mitkä kadut ovat todellisuudessa korjausvelkalaskimen laskelmaa huonommassa kunnossa. Esimerkkinä on Pitkännevan tie, jonka kuntotaso on korjausvelkalaskimen mukaan 19 %. Mittauksissa kadulla on hyvä kantavuus, mutta kadun pinta oli epätasainen ja kuoppainen. Sorvarinkatu, Smirnoffintie ja Liisanlehdontie olivat korjausvelkalaskimen mukaan huonossa kunnossa ja kadut olivat myös tutkimusten mukaan huonossa kunnossa. Näillä kaduilla tutkimustulokset vahvistivat korjausvelkalaskimen tulokset.

Tutkimustuloksista saadun kuntotason kuvaaminen yhdellä luvulla parantaa Vanhan Vaasan kadun välin Niittomiehenkatu - Kappelinmäentie todellista kuntoa. Kadulla on monissa kohdissa kantavuuspuutteita ja suuria epätasaisuuksia. Katu on kuitenkin pitkä, joten useiden mittaustulosten riittävän hyvä taso nostaa kuntotasoa paremmaksi, mitä se joissain kohdissa on.

Tutkimustulosten ja korjausvelkalaskimen kuntotasojen vertailussa katujen kuntotasot vaihtelevat suuresti ja vaihtelulla ei ole selkeää linjaa. Tutkimustulosten analysoinnissa vaikuttaa suuresti, mitä arvoa kadun kunnosta painotetaan. Kun koko kadun pituudelta tehty tutkimustulokset tiivistetään kuvaamaan kadun kuntoa yhdellä luvulla, niin kadun kunnosta katoaa paljon oleellista tietoa. Tutkimuksilla voidaan tarkastella paremmin kadun kuntoa lyhyemmissä osissa ja näillä voidaan havaita, mikä osa kadusta on heikoimmassa kunnossa.

### **6.2.3 Tutkimustulosten mukaisten kuntotasojen ja korjausvelkalaskimen korjausvelkalaskennan vertailu**

Kuvassa 80 on esitetty vertailu korjausvelkalaskimen ja tutkimustulosten mukaisista korjausvelkasummista. Korjausvelkalaskenta on molemmissa tapauksissa tehty korjausvelkalaskimella. Kuvassa vasemmalla on esitetty korjausvelkalaskimen tietotasojen mukainen laskenta, eli laskennassa on huomioitu tietotasoille syötetyt tiedot. Näitä tie-

toja ovat muun muassa pohjamaa-, kantavuus- ja routivuusluokka. Kuvassa oikealla on esitetty manuaalisesti syötetyistä kuntotasoista laskettu korjausvelka. Manuaalisesti syötetyissä kuntotasoissa on käytetty IRI- ja URA-mittausten huonompaa arvoa eli samaa kuntotasoarvoa, mikä on esitetty kuvassa 79. Manuaalisesti syötettyjen kuntotasojen mukaisessa laskennassa korjausvelka on 3 329 962 €. Manuaalisesti määritettyjen kuntotasojen mukaisessa laskennassa korjausvelka on noin 657 000 € vähemmän kun laskimen tietotasojen mukaisessa laskennassa.

Kohde	Toiminnallinen lk	Tietotasojen mukainen laskenta			Manuaalisesti syötetty kuntotaso		
		kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka	kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka
Vanhan Vaasan katu välillä Niittomiehenk. - Kappelinmäent	Kokoojakatu	4 %	71 %	840 295 €	31 %	44 %	517 794 €
Vanhan Vaasan katu välillä Kappelinmäent. - Lehtikuusent	Kokoojakatu	62 %	13 %	139 913 €	17 %	58 %	622 299 €
Kauppapuistikko välillä Vaasanp - Rauhankatu	Pääkatu	67 %	23 %	76 833 €	43 %	47 %	155 203 €
Kauppapuistikko välillä Rauhankatu - Korsholmanp	Pääkatu	42 %	48 %	309 055 €	71 %	19 %	123 171 €
Koulukatu	Kokoojakatu	29 %	46 %	278 563 €	0 %	75 %	453 299 €
Koulukatu välillä Vaasanp - Hietalahdenk	Pääkatu	44 %	46 %	446 173 €	50 %	40 %	389 303 €
Sorvarinkatu	Tonttikatu	4 %	61 %	156 882 €	0 %	65 %	166 009 €
Sepänkatu	Tonttikatu	5 %	60 %	112 036 €	30 %	35 %	64 839 €
Jyrsijänkatu	Tonttikatu	4 %	61 %	158 013 €	34 %	31 %	80 572 €
Pitkänevantie	Tonttikatu	19 %	46 %	21 921 €	0 %	65 %	30 773 €
Uuspellontie	Tonttikatu	18 %	47 %	42 982 €	0 %	65 %	59 185 €
Talkootie	Tonttikatu	18 %	47 %	41 255 €	0 %	65 %	57 348 €
Hellaksentie	Tonttikatu	13 %	52 %	24 569 €	20 %	45 %	21 451 €
Smirnoffintie	Tonttikatu	3 %	62 %	58 709 €	0 %	65 %	61 521 €
Liisanlehdontie	Tonttikatu	7 %	58 %	300 504 €	0 %	65 %	334 956 €
Kaarlentie	Tonttikatu	12 %	53 %	166 029 €	41 %	24 %	74 874 €
Mäntymaantie	Kokoojakatu	16 %	59 %	693 389 €	65 %	10 %	117 366 €
Rajarinne	Kokoojakatu	44 %	31 %	119 784 €	78 %		
				Yhteensä:	3 329 962 €		
				Erotus:	-656 944 €		

**Kuva 80.** Korjausvelkalaskimella laskettujen manuaalisen kuntotason ja tietotaso-pohjaisen korjausvelkalaskennan vertailu

Kuvan 80 mukaisesta korjausvelkasummien erosta voidaan todeta, että tutkimuksista määritetyillä kuntotasoilla korjausvelkasumma on pienempi. Tuloksia tarkasteltaessa tulee kuitenkin huomioida, että tutkimuksista määritetyissä kuntotasoissa on huomioitu vain kadun pintakunto. Katujen rakennekerrosten kuntoa ei ole huomioitu, mikä voi laskea kadun todellista kuntotasoa ja täten kasvattaa korjausvelkasummaa ja pienentää erotusta. Kaduille tehtiin myös kantavuusmittauksia. Tutkimusten mukaan tehdyssä määritelmässä hyväkuntoisilla kaduilla oli myös hyvät kantavuusarvot, joten kaduilla ei voi todeta olevan kantavuuspuutteita. Etenkin pää- ja kokoojakaduilla kuntotasoarvio voisi olla vieläkin parempi, jos kadut päällystettäisiin uudelleen.

Korjausvelkalaskennoista voidaan todeta, että pitkillä pää- ja kokoojakaduilla on suurin vaikutus kertyvään korjausvelkaan. Suurimmat erot ovat havaittavissa Vanhan Vaasan kadun molemmilla väleillä sekä Mäntymaantiellä. Pitämällä nämä kadut hyvässä kunnossa voidaan selvästi hillitä korjausvelan määrän kasvua.

## 6.3 Katujen kunnan ylläpito

Katujen kunnan hyvä ylläpito vaatii katujen säännöllistä huoltamista ja syntyvien vaurioiden riittävän aikaista havaitsemista sekä korjaamista. Ennakoivalla kunnossapidolla kadut pysyisivät koko ajan hyvässä kunnossa. Tällöin huolto- ja korjaustarpeet ja tarvittavat toimenpiteet eivät olisi kerralla niin massiivisia. Jos kaduille riittäisi kevyemmät toimenpiteet koko kadun saneeraamisen sijasta, myös kustannukset pysyisivät pienempinä. Riittävän hyvä ennakoiva kunnossapito vaatisi katujen riittävän korkean kuntotason, jotta katujen kunnan ylläpito olisi helpompaa. Kaikkia katuja ei käytännössä ole mahdollista saneerata kerralla hyvään kuntoon, vaan korjaustoimenpiteet vaativat pitkäjänteisen suunnitelman. Pitkäaikaisen korjausohjelman aikana korjatut kadut tulisi pitää riittävän hyväkuntoisina, että niille ei tarvitse tehdä massiivisia saneerauksia edellisen saneerauskierroksen päätyttyä. Katujen kuntotilaa tulisikin ennakoida esimerkiksi mitausten avulla.

### 6.3.1 Kuntotilan ennakointi

Katujen kuntotilan ennakointiin tarkin keino on tarkat ja toistettavissa olevat tutkimukset. Tutkimuksilla kaduista saadaan todellinen tutkimusajankohdan aikainen kuntotilanne katurakenteen pinnalta ja mittaustavasta riippuen myös rakenteen sisältä. Tutkimuksia tehdessä pitää aina huomioida olosuhteet, mutta olosuhteiden huomioimisen myötä tutkimukset ovat silti vertailtavissa keskenään. Poikkeuksellisissa sääolosuhteissa myös mitatut tutkimustulokset voivat olla mahdottomia vertailtavia.

Tarkoilla ja toistettavilla mittauksilla on mahdollista seurata kuntotilan muutosta mitauskertojen välillä. Kuntotilan muutoksia voivat olla esimerkiksi pinnan urautuneisuus, tasaisuus, asfaltin halkeilu ja painumat. Kuntotilan muutoksen suuruuden perusteella on mahdollista myös arvioida tulevia muutoksia ja muutosnopeutta, etenkin jos käytössä on kahta useammat mittaustulokset. Kahdellakin mittaustuloksella on mahdollista arvioida tulevaa muutosta, mutta muutosnopeutta on haastavaa arvioida vain kahdesta mittauksesta. Esimerkiksi korjausvelkalaskimessa käytetyissä kuntotasokäyrissä (kuva 17) kuntotason muutokset eivät ole lineaarisia vaan S-käyrän muotoisia.

Riittävän usein toistettavat tarkat mittaukset vaativat tutkimustyyppin, jolla on mahdollista mitata nopeasti suuria määriä katuja. Hitaatkin mittaustavat käyvät, mutta jos mitattavia katuja on kymmenittäin tai sadoittain, käy mittausten tekeminen ja analysointi kokonaisuudessa hitaaksi ja kalliiksi. Mittauksiin käytettävä aika lisää usein kustannuksia, joten nopeilla mittaustavoilla kustannukset pysyisivät alhaisempina. Kuntotilaa ja kuntotilan muutoksia on mahdollista ennakoida riittävän usein toistettavilla tutkimuksilla, mutta tämä vaatii pitkäjänteisen suunnitelman ja riittävän budjetin.

Kuntotilaa on mahdollista ennakoida myös esimerkiksi korjausvelkalaskimella. Korjausvelkalaskin antaa hyvän arvion rakenteiden kuntotilasta ja tulevasta kuntotilan muu-

toksesta. Korjausvelkalaskimesta saatavat kuntotasot ovat kuitenkin laskentamallien pohjalta saatuja ennusteita, joten tuloksiin ei saa luottaa liian sokeasti. Kuten luvussa 6.2.2 havaittiin, korjausvelkalaskimessa lähes saman kuntotason saaneet kadut eivät välttämättä mittaustulosten perusteella olleet lähellä samaa kuntotasoa. Paras esimerkki tästä on Liisanlehdontie ja Kaarlentie, joilla on lähes sama kuntotaso korjausvelkalaskimessa, mutta mittausten perusteella Kaarlentie on selvästi paremmassa kunnossa. Korjausvelkalaskimen tehokas käyttö vaatiikin kaduille tehtäviä tutkimuksia, jotta laskimesta saatuja kuntotasojatietoja voidaan päivittää ja tarkentaa.

Myös säännöllisillä maastokäynneillä tai katujen inventoinneilla voidaan ennakoida katujen kuntoa ja tulevaa muutosta. Kuitenkin jos tarkastelut ovat silmämääräisiä, niin kuntomääritelmät ovat aina osittain subjektiivisia. Lisäksi kahden eri henkilön tekemät arviot voivat poiketa toisistaan. Silmämääräisellä tarkastelulla ei myöskään ole mahdollista havaita esimerkiksi kantavuuspuutteita tai muita rakenteessa olevia ongelmia, jos ongelmat eivät heijastu pintaan. Tällöin tulevan heikkenemisen ennakointi on haasteellista ja oikeiden korjaustoimenpiteiden tekeminen ennen suurempia vaurioita on vaikeaa.

### **6.3.2 Katusaneerausjärjestyksen suunnittelu**

Katusaneerausten ajankohtien ja katujen saneerausjärjestysten optimoinnissa voi usein tulla haasteita katujen monikäyttötila-luonteen vuoksi. Katurakenteiden alla ja sisässä kulkee usein kunnallistekniikkaa, kuten vesi- ja viemärijohtoja, sekä erilaisia kaapeleita. Katu- ja kunnallisteknisten rakenteiden käyttöikä ja kuntotaso poikkeavat usein toisistaan, ja monesti katurakenteiden ja muun kunnallistekniikan optimaaliset korjausajankohdat eivät osu samaan ajankohtaan. Tämän seurauksena tiivis yhteydenpito ja hankkeiden aikatauluista sopiminen eri toimijoiden kesken on tärkeää kustannustehokkaiden toimenpiteiden saavuttamisessa.

Katurakenteiden ja kunnallistekniikan kunnon seurannan ja kuntotilan ennakkoinnin avulla on mahdollista tehdä pitkän aikavälin suunnitelmia tuleville saneeraustoimenpiteille. Pitkäjänteisellä tarkastelulla olisi mahdollista löytää kohteita, joissa optimaaliset saneerausajankohdat osuvat lähelle toisiaan. Riittävän aikaisella ennakkoinnilla olisi mahdollista saada rahoitus kaikkien tarpeellisten saneeraustoimenpiteiden tekemiseen. Hyvästä ennakkoinnista ja kuntotilan seuraamisesta huolimatta aina tulee tilanteita, joissa saneerausajankohtia ei saada mitenkään optimaaliseksi kaikkien rakenteiden kannalta. Tällaisissa tilanteissa olisi hyvä miettiä kaikkien rakenteiden mahdollista saneeraus- tai kunnostustarvetta. Esimerkiksi jos katurakenne pitää saneerata, onko tarvetta yksittäisten vesihuoltorakenteiden korjaamiseen samalla. Tai jos vesihuoltoputkia saneerataan kadun alta, pitäisikö asfaltti uusia koko kadun leveydeltä samalla kerralla.

Kuntotilan seuraamisen avulla on mahdollista suunnitella tulevia katusaneerauksia. Esimerkiksi korjausvelkalaskimella on mahdollista seurata ja ennakoida katujen kunto-

tilan kehitystä vuositasolla. Kuvassa 81 on esitetty kuntotasoarviot, korjausvelkaprosentit ja korjausvelkalaskelmat vuosille 2018 ja 2028. Laskennassa on oletettu, että kaduille ei tehdä toimenpiteitä tällä aikavälillä. Kuvassa vasemmalla on vuoden 2018 tulokset ja oikealla vuoden 2028 tulokset. Kuntotason ollessa alle 10 %-yksikköä muutokset katu-  
jen kuntotasoissa pysyvät vähäisinä. Suurimmat muutokset ja kuntotason heikkenemiset tapahtuvat pää- ja kokoojakaduilla, joiden arvioitu kuntotaso vuonna 2018 on yli 40 %-yksikköä. Vuonna 2018 laskennallinen korjausvelka on 3 986 905 € ja vuonna 2028 korjausvelka on 5 427 496 €. Kymmenen vuoden aikana laskennallinen korjausvelka kasvaisi 15 kadulla noin 1,44 miljoonaa euroa, jos kaduille ei tehdä saneeraustoimenpiteitä.

		2018			2028		
Kohde	Toiminnallinen lk.	kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka	kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka
<i>Vanhan Vaasan katu välillä Niittomiehenk. - Kappelinmäent</i>	<i>Kokoajakatu</i>	4 %	71 %	840 295 €	1 %	74 %	872 418 €
<i>Vanhan Vaasan katu välillä Kappelinmäent. - Lehtikuusent</i>	<i>Kokoajakatu</i>	62 %	13 %	139 913 €	27 %	48 %	514 052 €
<i>Kauppapuistikko välillä Vaasanp - Rauhankatu</i>	<i>Pääkatu</i>	67 %	23 %	76 833 €	33 %	57 %	189 736 €
<i>Kauppapuistikko välillä Rauhankatu - Korsholmanp</i>	<i>Pääkatu</i>	42 %	48 %	309 055 €	16 %	74 %	482 632 €
<i>Koulukatu</i>	<i>Kokoajakatu</i>	29 %	46 %	278 563 €	9 %	66 %	400 193 €
<i>Koulukatu välillä Vaasanp - Hietalahdenk</i>	<i>Pääkatu</i>	44 %	46 %	446 173 €	17 %	73 %	711 384 €
<i>Sorvarinkatu</i>	<i>Tonttikatu</i>	4 %	61 %	156 882 €	1 %	64 %	163 287 €
<i>Sepänkatu</i>	<i>Tonttikatu</i>	5 %	60 %	112 036 €	1 %	64 %	117 916 €
<i>Jyrsijänkatu</i>	<i>Tonttikatu</i>	4 %	61 %	158 013 €	1 %	64 %	165 882 €
<i>Pitkänevantie</i>	<i>Tonttikatu</i>	19 %	46 %	21 921 €	6 %	59 %	27 883 €
<i>Uuspellantie</i>	<i>Tonttikatu</i>	18 %	47 %	42 982 €	6 %	59 %	53 784 €
<i>Talkootie</i>	<i>Tonttikatu</i>	18 %	47 %	41 255 €	6 %	59 %	51 894 €
<i>Hellaksentie</i>	<i>Tonttikatu</i>	13 %	52 %	24 569 €	4 %	61 %	28 846 €
<i>Smirnoffintie</i>	<i>Tonttikatu</i>	3 %	62 %	58 709 €	1 %	64 %	60 678 €
<i>Liisanlehdontie</i>	<i>Tonttikatu</i>	7 %	58 %	300 504 €	2 %	63 %	324 485 €
<i>Kaarlenie</i>	<i>Tonttikatu</i>	12 %	53 %	166 029 €	4 %	61 %	191 217 €
<i>Mäntymaantie</i>	<i>Kokoajakatu</i>	16 %	59 %	693 389 €	4 %	71 %	829 024 €
<i>Rajarinne</i>	<i>Kokoajakatu</i>	44 %	31 %	119 784 €	13 %	62 %	242 388 €
		Yhteensä:		3 986 905 €			5 427 498 €
		Erotus:					1 440 593 €

**Kuva 81.** Tutkimuksessa mukana olleiden katujen kuntotasoarviot ja korjausvelkalaskelmat vuosina 2018 ja 2028

Tarkentavia kuntotutkimuksia voidaan hyödyntää katusaneerausjärjestyksen määrittämisessä. Esimerkiksi tilanteessa, jossa useampi katu on saneeraustarpeessa, mutta rahaa on vain yhden saneeraamiseen, kuntotutkimusten perusteella on mahdollista määrittää, mikä katu on oikeasti heikoimmassa kunnossa ja eniten saneeraamisen tarpeessa. Korjausvelkalaskimessa Sorvarinkatu, Sepänkatu ja Jyrsijänkatu saavat saman kuntotasoarvion, ja tämän arvion perusteella on mahdotonta sanoa mikä oikeasti on heikoimmassa kunnossa. Sorvarinkatu ja Sepänkatu olivat myös korjaustarpeessa olevien katujen listauksessa ja tutkimustulostenkin perusteella kadut olivat huonommassa kunnossa kuin Jyrsijänkatu. Jos rahaa olisi kahden kadun saneeraamiseen, niin näistä kolmesta Jyrsijänkadun saneeraaminen jätettäisiin myöhempään. Jos olisi rahaa vain yhden kadun saneeraamiseen, niin tutkimustuloksista havaitaan Sorvarinkadun olevan kaikkein heikoimmassa kunnossa. Kadulla on näistä kolmesta heikoin kantavuus ja suurimmat IRI- ja URA -arvot.

Pitkänevantien, Uuspellontien, Talkootien ja Hellaksentien kuntotasoarviot ovat lähes samaa luokkaa, joten näidenkin katujen välille olisi haastavaa tehdä eroja pelkän korjausvelkalaskimen avulla. Maastokäynnillä Pitkänevantie näytti olevan heikoimmassa kunnossa olevan näköinen katu. Mittauksissa Pitkänevantien arvot tasaisuusmittauksissa olivat hieman heikommat kuin muilla kaduilla, mutta kantavuusarvot olivat selvästi parhaat. Kantavuusarvot ovat parhaat, koska kallio kulkee ainakin osittain kadun alla. Hellaksentien kantavuusarvot olivat selvästi heikoimmat, mutta tasaisuusarvot vielä selkeämmin paremmat kuin muilla, joten katu vaikuttaisi olevan viimeisenä saneeraustarpeessa. Jos vain yksi katu korjattaisiin, niin mittaustulosten perusteella Pitkänevantien olisi ensimmäisenä korjaamisen tarpeessa. Tällaisessa tasaisessa tilanteessa saneerauspäätöksessä on hyvä huomioida myös muun kunnallistekniikan saneeraustarve ja tehdä lopulliset päätökset kokonaistilanne huomioiden.

Liisanlehdontien ja Kaarlentien kuntotasoarviot ovat lähes samat korjausvelkalaskimessa. Näiden katujen osalta jo maastokäynnillä voi selkeästi havaita kumpi katu on paremmassa kunnossa. Näistä kaduista Kaarlentien kuntotasoarvio on hieman parempi, maastokäynnillä katu näytti olevan paremmassa kunnossa ja myös mittaustulosten mukaan katu on paremmassa kunnossa. Tasaisuusmittauksissa ero on selkeä, kantavuusmittauksissa ero ei ollut niin suuri, mutta kuitenkin havaittava.

Kuntotutkimuksia voidaan siis hyödyntää katujen saneerausjärjestyksen suunnittelussa. Kuntotutkimusten avulla voidaan seurata, milloin katujen saneeraustarve lähestyy ja kuinka kokonaisvaltainen saneeraus on tarpeen tehdä. Saneerauksen tullessa ajankoh- taiseksi kadut voidaan asettaa tiettyyn paremmuusjärjestykseen kuntotasojen osalta. Tätä mittauksiin perustuvaa järjestystä voidaan käyttää perusteluna saneerausjärjestykselle, jos useita katuja saneerataan eri vuosina ja muu kunnallistekniikka ei aiheuta tarpeita katujen saneeraamiselle.

### **6.3.3 Mitatun datan hyödynnettävyys**

Kuntotutkimuksissa syntyy dataa, joka kuvastaa katujen kuntoa mittausajankohdan aikana. Mittaustulokset ovat sidonnaisia vallitseviin sääolosuhteisiin ja olosuhteet tulisi- kin huomioida mittaustuloksissa. Tämän tutkimuksen aikana kaduilla suoritettut kunto- tutkimukset ovat tapahtuneet poikkeuksellisissa olosuhteissa. Vuoden 2018 aikana kevät jäi hyvinkin lyhyeksi ja koko kesä on ollut poikkeuksellisen kuiva. Nämä asiat vaikutta- vat etenkin routanousu- ja kantavuusmittauksiin.

Mitattua dataa on mahdollista hyödyntää katujen kunnan pitempiaikaisessa seurannassa. Tällöin tutkimuksia tehdään säännöllisin väliajoin ja tuloksia vertaillaan keskenään. Tu- loksien vertailussa pitää huomioida mittausten aikaiset olosuhteet. Kuitenkin esimerkik- si katujen urautumisen tai pituussuuntaisen epätasaisuuden seurannassa eri mittausten arvoja on helppoa vertailla keskenään. Urautumisen eroista on mahdollista tarkastella



urautumisnopeutta ja asfaltointitarvetta. Pitemmällä tarkastelulla on mahdollista arvioida, kuinka kauan asfaltoitu pinta pysyy hyvänä ja koska tarvitaan uudelleen asfaltointia.

Laserkeilauksessa kadun pinnasta saadaan mitattua pistepilviaineistoa, jossa jokaisella pisteillä on xyz-tiedot, eli pisteillä on vaaka- ja pystykoordinaatit sekä korkeustieto. Tällaista tietoa on mahdollista hyödyntää katusaneerausten lähtötietoina käytettävissä lähtötieto- ja maanpintamalleissa. Mitattua pistepilviaineistoa on mahdollista hyödyntää myös esimerkiksi kadun urautuneisuuden, kaltevuuksien sekä veden virtaussuuntien määrittelyissä.

Mitattua dataa on mahdollista käyttää pitkällä aikavälillä tai välittömästi. Pitkällä aikavälillä mittausdataa voidaan hyödyntää kuntotilan ja kuntotilan muutoksien seurannassa. Välittömästi hyödynnettävää dataa voidaan käyttää esimerkiksi suunniteltavissa ja toteutettavissa katusaneerauksissa. Välittömästi hyödynnettävä data voi olla esimerkiksi maatutkaukset, joiden avulla katurakenteista tarkastellaan rakenteen todellista paksuutta ja rakennekerrosten tasaisuutta. Maatutkauksen tuloksia voidaan hyödyntää myös esimerkiksi saneerauksen suunnittelussa ja saneerausvaihtoehtojen vertailussa. Jos rakennekerrokset ovat riittävät ja kadulla on hyvä kantavuus, tällöin kevyempi korjaus kuten kantavan kerroksen uusinta tai muotoilu sekä uudelleen päällystäminen voi riittää. Heikommissa kohdissa olisi mahdollista tehdä koko rakenteen massanvaihto. Nämä heikommat kohdat on mahdollista todeta mittauksen, kuten kantavuusmittauksen ja maatutkausten, tuloksista. Useammalla tutkimusmenetelmällä saadaan kokonaisvaltainen tieto rakenteiden kunnosta. Täten oikeiden päätelmien tekeminen rakenteen kunnosta onnistuu paremmin kuin vähäisemmällä tutkimusmäärällä.

Korjausvelkalaskimessa tarvittavat tietotasojen tiedot ovat kohdetyyppi, saneeraus- tai rakentamisvuosi, alusrakenne, päällysteen paksuus, katurakenteen paksuus, kantavuus, kuivatus ja routivuus. Näistä tiedoista kadun kantavuus, kuivatus ja routivuus ovat parametreja, joiden arvot voivat muuttua muutamien vuosien aikana. Kaikki kyseiset parametrit kuuluvat korjausvelkalaskimessa tietotasoon 3. Muut kohdat ovat pääasiassa sellaisia, joiden pitäisi pysyä samana kadun elinkaaren ajan ilman erityisiä tapahtumia. Näistä päällysteen paksuus saattaa kasvaa, jos päällystys tehdään vanhan päällysteen päälle, mutta muuten rakenteiden paksuuksien pitäisi pysyä entisellään. Saneerausten yhteydessä saneerausvuosi päivittyy ja tällöin on luontevaa päivittää muutkin korjausvelkalaskimen tiedot.

Jos tavoitteena on hyödyntää korjausvelkalaskinta katujen kunnan seurannassa, tällöin säännölliset tutkimusmenetelmät kannattaisi olla korjausvelkalaskimessa tarvittavia tietoja tukevia, kuten laserkeilausmittauksia sekä kantavuusmittauksia. Mittaustyyppit ovat nopeita ja näistä saadaan selville korjausvelkalaskimen tietotason 3 tietoja. Laserkeilausaineistosta on myös mahdollista selvittää kadun pinnan urautumista sekä pituussuuntaisen tasaisuuden IRI-arvoja.

Oleellista tutkimusten hyödyntämisessä on tutkimustulosten oikea tulkinta sekä tehtyjen tutkimusten dokumentointi. Dokumentoinnissa on tärkeää tietää mitä on tutkittu, miten tutkimuksia on tulkittu ja millaiset olosuhteet tutkimushetkillä on ollut. Esimerkiksi onko ollut erittäin kuivaa tai erittäin märkää. Etenkin kantavuusmittausten tuloksiin ja tulosten tulkintaan näillä tiedoilla voi olla suuri vaikutus. Tarkka dokumentointi mahdollistaa tulosten pitkäaikaisen seurannan ja tietojen myöhemmän hyödynnettävyyden. Tarkan dokumentoinnin avulla on mahdollista tutkia mitä kaikkia tutkimuksia mihinkin on tehty sekä onko jollekin tutkimukselle tarvetta. Dokumentointi mahdollistaa myös aiheeseen ja kohteisiin ennestään perehtymättömän henkilön tutustumisen aiemmin tehtyihin tutkimustuloksiin. Tällöin on mahdollista ymmärtää mitä missäkin on tehty ja millaisia tuloksia tutkimuksista on saatu.

Kuntotutkimuksilla saavutetaan erilaisia tietoja, joita on mahdollista hyödyntää katujen kuntotasojen, korjausvelan sekä saneeraustarpeiden ja -laajuuden määrittämisessä. Monilla kunnilla ei vielä ole strategiaa korjausvelan määrittämiseen, seuraamiseen ja pienentämiseen. Tällaisen strategian luomisen yhteydessä olisi tehokasta määrittää millaisilla kuntotutkimuksilla katujen kuntoa ja korjausvelkaa tutkitaan ja miten kuntotutkimuksista saatavaa dataa hyödynnetään. Esimerkiksi jos tavoitteena on käyttää korjausvelkalaskinta, niin tulisi pohtia millaisilla tutkimuksilla laskimesta ja tehdyistä tutkimuksista saadaan paras hyöty irti. Jos korjausvelkaa ja katujen kuntoa seurataan jotenkin muuten, niin tulisi pohtia millaisilla tutkimuksilla saadaan riittävät tiedot ja mihin kaikkeen tutkimuksista saatavia tietoja voidaan käyttää ja hyödyntää.

## 7. YHTEENVETO

### Tehdyt kuntotutkimukset ja kohteiden valinta

Korjausvelka kuvastaa kadun nykyisen kuntotason ja kadulle määritellyn tavoitekuntotason erotusta. Korjausvelkaa voidaan kuvata myös rahallisesti, jolloin korjausvelka on tavoitekuntotason mukaiseen kuntoon tehtävän korjauksen rahallinen summa. Vaasan katuverkosta on tehty korjausvelkalaskelma Excel-pohjaisella korjausvelkalaskimella. Vaasan korjausvelkalaskennassa on käytetty laskimen toiseksi tarkinta laskentatarkkuutta sekä korjausvelkalaskimen ensimmäistä valmista versiota. Tämän tutkimuksen aikana korjausvelkalaskentaa on tarkennettu 15 kadun osalta tarkimmalle tasolle ja samalla korjausvelkalaskimesta on otettu käyttöön uudempi päivitetty versio.

Katujen rajauksessa ja valinnassa on huomioitu katujen liikennemäärät, katujen nykyinen kuntotila sekä Vaasan kaupungilla olemassa ollut korjattavien katujen listaus. Valinnoissa on huomioitu myös katujen pohjamaaluokat sekä katujen toiminnallinen luokka. Mukaan valittiin eri vuosikymmeniltä erityyppisiä katuja, ja mukana on pääkatuja, kokoojakatuja, tonttikatuja sekä teollisuuskatuja.

Käytetyt tutkimusmenetelmät kaduilla olivat mobiililaserkeilausmittaukset keväällä ja kesällä sekä kantavuusmittaukset. Laserkeilausaineiston koordinaattipaikannus ei onnistunut, joten routanousua ja routivuusluokkaa ei voitu määrittää mittauksista. Routivuusluokan määrittelyssä hyödynnettiin laskennallista routanousua. Tutkimuksen tavoitteena oli myös kuivatusrakenteiden kuntotutkimukset, mutta tähän ei löydetty menetelmää, jolla tutkimuksia voitaisiin tehdä nopeasti laajalle alueelle. Tämän seurauksena kuivatusrakenteiden tutkinnassa keskityttiin ainoastaan pintakuivatuksen tarkasteluun.

Kantavuusmittauksilla, maastokäynneillä ja laskennallisella routanousulla saatiin määritettyä korjausvelkalaskimen kolmannen lähtötietotason tiedot. Laserkeilausten tuloksista saatiin katujen pinnan IRI- ja URA -mittaukset, joista laskettiin mittaustuloksia vastaavat katujen kuntotasot. Tutkimustuloksista laskettuja kuntotasoja vertailtiin korjausvelkalaskimen antamiin kuntotasoihin.

### Tutkimustulokset

Valittujen 15 kadun uudisarvo on 8 267 764 €. Alkuperäisen, vanhalla korjausvelkalaskimella tehdyn, laskelman mukaan näiden katujen korjausvelka olisi 5 491 178 €. Päivitetyn korjausvelkalaskimen toiseksi tarkimmalla laskennalla korjausvelkasumma on 3 861 012 €, eli pelkästään laskinversioiden välillä ero on noin 1,63 miljoonaa euroa. Tarkimmalla laskelmalla korjausvelkasumma on 3 986 905 €. Laskennallinen korjaus-

velka kasvaa noin 126 000 €, eli vaikutukset korjauskustannusarvioon oli noin kolme prosenttia. Tutkimustuloksista määritettyjen kuntotasojen korjausvelkalaskimella laskettu korjausvelkasumma on 3 329 962 €, eli ero tarkimpaan lähtötietojen mukaan laskettuun korjausvelkasummaan on noin 657 000 €. Tämä on huomattava ero ja voidaan todeta tutkimustulosten antavan korjausvelkalaskinta pienemmän korjausvelkasumman useamman kadun otannalla.

Tietotasolla 3 olevien luokitusten, kantavuus-, kuivatus- ja routivuusluokan, vaikutusten tarkastelussa havaittiin routivuusluokalla olevan suurin merkitys korjausvelkalaskentaan. Luokkien 1 ”ei routiva rakenne” ja 2 ”lievästi routiva rakenne” välillä vaikutus oli suurin: kuntotason vaihtelu oli seitsemän prosenttiyksikköä. Tarkastelussa kuivatusluokalla oli pienin merkitys kadun kuntotasoon.

Katuparien välisessä vertailussa korjausvelkalaskimen kuntotasokerot pysyivät lähes samassa laskentatarkkuudesta riippumatta ja katujen välillä ei tapahtunut merkittäviä päätöksiä helpottavia muutoksia. Kuntotutkimusten perusteella vertailukaduiksi valikoituneet kadut olivat poikkeuksetta paremmassa kunnossa kuin korjaustarve-listalla olevat kadut. Kuntotutkimusten perusteella korjausvelkalaskimessa lähes saman kuntotason saavat kadut oli myös mahdollista listata kunnan mukaiseen järjestykseen, jota voitaisiin hyödyntää esimerkiksi saneerausjärjestyksen suunnittelussa. Alun perin huonokuntoiseksi tiedetyt kadut todettiin myös kuntotutkimuksissa huonokuntoisiksi.

Korjausvelkalaskimen mukaisia katujen kuntotasojen ja mittaustuloksista laskettuja kuntotasojen vertailemalla havaittiin, että tulokset eivät ole linjassa keskenään ja tuloksista ei voi selkeästi sanoa kumpi tapa antaa paremman tai huonomman tuloksen yksittäisen kadun tarkastelussa. Mittausten jälkeen kaduista tiedetään tarkemmin, missä on vaurioita, millaisia vauriot ovat ja millaisia toimenpiteitä tarvitaan vaurioiden korjaamiseen. Mittauksilla havaitaan myös, jos vain osa kadusta on vaurioitunut ja saneeraustoimenpiteet voidaan tällöin keskittää vain vaurioituneeseen osaan. Tutkimusten avulla kaduista saadaan ajankohtaista tietoa ja kadut voidaan aina asettaa kunnan mukaiseen paremmuusjärjestykseen. Tällä järjestyksellä on mahdollista perustella katujen saneerausjärjestystä, jos muu kunnallistekniikka katujen alla ei ole saneeraustarpeessa.

Korjausvelkalaskennan tarkentamisen vaikutukset olivat kokonaisuudessa melko vähäisiä tällä katuotannalla. Suuremmalla otannalla tai koko kaupungin kadut laskemalla myös vaikutukset kertautuisivat. Tarkentamisella kuitenkin havaittiin, mikä parametri on merkitsevin tarkimmassa laskelmassa. Routivuus oli kuitenkin asia, jota ei saatu mitattua alkuperäisten tavoitteiden mukaisesti ja esimerkiksi pääkatujen routivuusluokan tarkemmalla määrittelyllä muutokset korjausvelkalaskentaan olisivat voineet olla suuremmat. Vaasassa pohjamaa on kuitenkin pääasiassa jotain muuta kuin kalliota, joten routivuusluokka on oletettavasti vain harvalla kadulla paras eli 1. Täten korjausvelan määrän voi olettaa kasvavan, jos kaikille kaduille tehtäisiin korjausvelkalaskenta tarkimmalla laskennalla. Tutkimuksen aikana kuitenkin havaittiin, että laskinversion päi-

vittämisellä oli selvästi suuremmat vaikutukset korjausvelkaan kuin laskennan tarkentamisella. Vaasan kaupungin kannattaisikin ensisijaisesti päivittää korjausvelkalaskin uusimpaan versioon.

### **Jatkotoimenpiteet**

Kaupungin olisi hyödyllistä tehdä säännöllisiä tutkimuksia pää- ja kokoojakaduilla, jolloin korjausvelkaan eniten vaikuttavien katujen kuntoa ja kuntotilan muutosta voitaisiin seurata. Säännöllisen seurannan avulla kaduille olisi mahdollista tehdä oikea-aikaisia kunnostuksia. Tällöin katujen kunnostaminen voitaisiin ajoittaa hetkeen, jolloin tarvittava toimenpide voisi olla päällysteen uusiminen tai muu kevyt kunnostus ja kadun runko pysyisi hyvässä kunnossa.

Käytettäviä tutkimusmenetelmiä voisivat olla tässäkin tutkimuksessa käytetyt kanta-  
vuusmittaukset sekä mobiililaserkeilaus tasaisuustietojen määrittämisessä sekä asfaltin urautumisen ja kulumisen seurannassa. Laserkeilausten koordinaattitiedon saaminen pitäisi olla edellytyksenä, jotta mittausaineistoa voisi hyödyntää tasaisuustietojen laskentaa monipuolisemmin. Myös tämän tutkimuksen ulkopuolelle jäänyttä maatutkausta olisi mahdollista hyödyntää muun muassa nykyisten rakennekerrospaksuuksien määrittämisessä ja mahdollisten kerrospaksuusvaihteluiden havaitsemisessa. Maatutkaustutkimuksilla saatavalla rakenteen kosteutta kuvaavalla MDI-parametrilla olisi mahdollista tutkia rakenteessa olevaa kosteutta ja mahdollisen kosteuden korrelaatiota kadun muuhun kuntotilaan.

Vaasan kaupungin ja muidenkin kaupunkien sekä kuntien olisi hyödyllistä kehittää pitkäjänteinen suunnitelma korjausvelan poistamiseksi. Suunnitelmassa tulisi olla, miten korjausvelkaa lähdetään pienentämään sekä miten korjausvelan määrää ja katujen kuntoa seurataan niin, että kunnostettujen katujen kunto ei pääse uudelleen romahtamaan. Vaasan kaupungin tapauksessa katujen kuntoa voisi seurata yleisellä tasolla korjausvelkalaskimella, ja kuntotasojen heikentyessä riittävästi kaduille tehtäisiin tarkempia tutkimuksia.

Suurimmilla pää- ja kokoojakaduilla tutkimukset voisivat olla säännöllisiä, jotta katujen todellinen kunto ja kuntotilan muutosnopeus olisi tarkemmin tiedossa ja katujen kuntotilaa olisi mahdollista ennustaa. Suunnitelman ja seurannan lisäksi kaduilla tehtäviä saneerauksia tulisi tehostaa. Tutkimusten avulla saneeraustoimenpiteitä on mahdollista kohdistaa vaurioituneisiin kohtiin ja vaurioiden aiheuttajiin. Tehostamisen avulla koko katurakennetta ei olisi välttämätöntä korjata, mikä mahdollistaisi resurssien hyödyntämisen useammassa kohteessa.

## LÄHTEET

- [1] Asfalttinormit 2017, Päällystealan neuvottelukunta PANK ry, 2017, 122 s.
- [2] G. Blackmer, Street Paving: More proactive maintenance could preserve additional city streets within existing funding, Office of the City Auditor, Portland, Oregon, 2006, 42 p. + appendix 10 p. Saatavissa: <https://algaonline.org/DocumentCenter/View/441>
- [3] T. Cronwall, P. Kråknäs, T. Turkka, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2012 - Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa, Liikennevirasto, Helsinki, 2012, 79 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts\\_2012-41\\_laserkeilauksen\\_kaytto\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts_2012-41_laserkeilauksen_kaytto_web.pdf)
- [4] A. Dawson, P. Kolisoja, Permanent Deformation - Report on Task 2.1, Roadex II Northern Periphery, 2004, 45 p. Saatavissa: [http://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/2\\_1-Permanent-Deformation\\_1.pdf](http://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/2_1-Permanent-Deformation_1.pdf)
- [5] J. Dietrich, J. Junes, N. Nevalainen, J. Äijö, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 35/2016 - Liikenneväylien korjausvelka 2016, Liikennevirasto, Helsinki, 2016, 24 s. + liitteet. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts\\_2016-35\\_liikennevaylien\\_korjausvelka\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2016-35_liikennevaylien_korjausvelka_web.pdf)
- [6] J. Dietrich, J. Junes, N. Nevalainen, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 44/2017 - Liikenneväylien korjausvelka 2017, Liikennevirasto, Helsinki, 2017, 24 s. + liitteet. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts\\_2017-44\\_liikennevaylien\\_korjausvelka\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2017-44_liikennevaylien_korjausvelka_web.pdf)
- [7] E. Ehrola, Liikenneväylien rakennesunnittelun perusteet, Rakennustieto Oy, Helsinki, 1996, 365 s.
- [8] A. Erola, Joensuun katuomaisuuden kunnonhallinta 2011 - 2016, Carement Oy, 2016, 22 s. Viitattu 10.4.2018. Raportti saatu Joensuun kaupungin kaupungininsinööriltä Ari Varoselta 15.9.2017.

- [9] L. Forslöf, H. Jones, Roadroid: Continuous Road Condition Monitoring with Smart Phones, Journal of Civil Engineering and Architecture, 2015, pp. 485-496. Saatavissa: <http://www.davidpublisher.org/Public/uploads/Contribute/55472096c5198.pdf>
  - [10] Geologian Tutkimuskeskus, Maankamara-karttapalvelu internetissä. Viitattu 12.5.2018. Saatavissa: <http://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>
  - [11] Geotrim, Internet-sivusto ja laserkeilainesitteet internet-sivustoilla. Viitattu 6.2.2018 ja 17.8.2018. Saatavissa: <https://shop.geotrim.fi/tietomallinnus>
  - [12] Greenwood Engineering, Traffic Speed Deflectometer -mittalaitteen esittely yrityksen internet-sivuilla, 2018. Viitattu 11.2.2018. Saatavissa: <https://www.greenwood.dk/tsd.php>
  - [13] Greenwood Engineering, Traffic Speed Deflectometer -esite, 2018. Viitattu 11.2.2018. Saatavissa: <ftp://ftp.greenwood.dk/tsd/pdf/tsd.pdf>
  - [14] P. Holm, J. Lemmetyinen, Kuntainfraselvitys 2017-2018 - Kuntien teknisen toimen asiantuntijat, Taloustutkimus Oy, Helsinki, 2018, 65 s. Viitattu 5.4.2018. Saatavissa: [http://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/ajankohtaista/yksittaisten-tiedotteiden-lisatietoaineistot/17463\\_infra\\_teknisen\\_toimen-asiantuntijat\\_tutkimusraportti\\_22.3.2018.pdf](http://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/ajankohtaista/yksittaisten-tiedotteiden-lisatietoaineistot/17463_infra_teknisen_toimen-asiantuntijat_tutkimusraportti_22.3.2018.pdf)
- Taloustutkimus haastatteli 50 kunnan yhdyskuntateknistä asiantuntijaa kuten teknistä johtajaa tai kaupungininsinööriä. Haastateltavista 30 prosenttia edusti suurimpia kaupunkeja, loput pieniä ja keskisuuria kuntia. Haastattelujen rinnalla toteutettiin yhdyskuntatekniikasta vastaavien lautakuntien luottamushenkilöille kysely, johon vastasi 99 päättäjää. Taloustutkimus teki selvityksen marras-joulukuussa 2017 Rakennusteollisuus RT:ssä infratoimialaa edustavan INFRA ry:n toimeksiannosta.
- [15] Ilmatieteen laitos, Ilmastokatsaus, säähavainnot ladattu Ilmatieteen laitoksen internet-sivuilta. Viitattu 17.8.2018. Saatavissa: <http://www.ilmastokatsaus.fi/>
  - [16] InfraRYL, Rakennustiedon internet-sivut, 2018. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/infraryl/extra/yleista.html.stx>
  - [17] Itäinen Ratakatu plv 0-600 Pituusleikkaus, piirustusnumero a-2139/2.1, Vaasan kaupungin tekninen virasto, Kuntatekniikka, 2017. Viitattu 2.1.2018. Saatavissa: [https://www.vaasa.fi/sites/default/files/a-2139-2\\_itainen\\_ratakatu\\_plv\\_0-950\\_pituusleikkaus.pdf](https://www.vaasa.fi/sites/default/files/a-2139-2_itainen_ratakatu_plv_0-950_pituusleikkaus.pdf)



- [18] E. Kaarlehto, V. Lauksio, Katujen korjausvelan laskennan kehittäminen, Suomen Kuntaliitto, Helsinki, 2017, 18 s. Saatavissa:  
[http://shop.kunnat.net/download.php?filename=uploads/1817korjausvelan\\_laske\\_nta\\_ebook.pdf](http://shop.kunnat.net/download.php?filename=uploads/1817korjausvelan_laske_nta_ebook.pdf)
- [19] A. Kangasharju, Alueellinen keskittyminen historiaa ja tulevaisuutta - myös Suomessa, Tilastokeskus, Kuntapuntari, 2004. Viitattu 7.3.2018. Saatavissa:  
[http://www.stat.fi/tup/kuntapuntari/kuntap\\_3\\_2004\\_alue.html](http://www.stat.fi/tup/kuntapuntari/kuntap_3_2004_alue.html)
- [20] KEHTO-toiminta, Kuntatekniikan internet-sivut, Kuntatekniikka, 2018. Viitattu 9.4.2018. Saatavissa: <https://kuntatekniikka.fi/kehto/>
- [21] S. Kesti, Kuopion kaupungin katuverkon korjausvelan määrittäminen, Tampereen Teknillinen Yliopisto, 2014, 81 s. + liitteet. Saatavissa:  
<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22249/Kesti.pdf?sequence=1>
- [22] L. Korkiala-Tanttu, H. Onninen, TPPT Menetelmäkuvaus - Tien rakennekerrostutkimukset, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Espoo, 2001, 25 s. + liitteet. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/13-rakennekerros.pdf>
- [23] Kunnallisteknisten töiden yleinen työselostus 02, Suomen Kuntaliitto, Helsinki, 2002, 297 s. + liitteet.
- [24] Leica, Laserkeilainesitteet internet-sivuilla. Viitattu 6.2.2018. Saatavissa  
<https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/laser-scanners>
- [25] Liikenneviraston ohjeita 15/2016 - Ajoneuvolaserkeilauksen hyödyntäminen tien painumamittauksissa, Liikennevirasto, Helsinki, 2016, 21 s. + liitteet. Saatavissa:  
[https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo\\_2016-15\\_ajoneuvolaserkeilauksen\\_hyodyntaminen\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2016-15_ajoneuvolaserkeilauksen_hyodyntaminen_web.pdf)
- [26] J. Litzka, A. Weninger-Vycudil, The Effect of restricted Budgets for Road Maintenance, Procedia – Social and Behavioral Sciences 48, Elsevier Ltd, 2012, pp. 484-494. Saatavissa:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812027632>
- [27] Maintenance of selected road infrastructure assets - report NO. 5/2017, Australian Capital Territory Audit Office, Canberra, 2017, 121 p. Saatavissa:  
<http://www.audit.act.gov.au/auditreports/reports2017/Report%20No%205%20of%202017%20-%20Maintenance%20of%20Selected%20Road%20Infrastructure%20Assets.pdf>

- [28] S. Manoharan, G. Chai, S. Chowdhury, A. Golding, A Study of the Structural Performance of Flexible Pavements Using a Traffic Speed Deflectometer, *Geo-China 2016*, 2016, pp. 146-154. Viitattu 10.2.2018. Saatavissa: <https://ascelibrary-org.libproxy.tut.fi/doi/pdf/10.1061/9780784480052.018>
- [29] W. Muller, R. Wix, Preliminary Field Validation of the Updated Traffic Speed Deflectometer (TSD) Device, ARRB Group Ltd and Authors, 2014, 12 p. Viitattu: 10.2.2018. Saatavissa: <http://114.111.144.247/Presto/content/Detail.aspx?ctID=MjE1ZTI4YzctZjc1YS00MzQ4LTkyY2UtMDJmNTgxYjg2ZDA5&rID=NDE3NA==&qrs=RmFsc2U=&q=dHJhZmZpYyBzcGVlZCBkZWZsZWNo21ldGVy&ph=VHJlZQ==&bckToL=VHJlZQ==&rrtc=VHJlZQ==>
- [30] T. Mäenpää, M. Niskanen, H. Pylkkö, S. Ropponen, O. Silven, Tiehallinnon selvityksiä 26/2008 - Konenäön hyödyntämismahdollisuudet teiden ylläpidossa ja hoidossa, Tiehallinto, Helsinki, 2008, 84 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf2/3201105-v-intopii\\_konenakopilotti.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf2/3201105-v-intopii_konenakopilotti.pdf)
- [31] V. Mäki, Traffic speed deflectometer -tekniikan käyttö tierakenteiden diagnostiikassa, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Tampere, 2017, 120 s. + liitteet. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/24814>
- [32] M. Nasimifar, S. Thyagarajan, R. V. Siddharthan, N. Sivanesar, Robust Deflection Indices from Traffic-Speed Deflectometer Measurements to Predict Critical Pavement Responses for Network-Level Pavement Management System Application, American Society of Civil Engineers, 2016, 11 p. Viitattu 11.2.2018. Saatavissa: <https://ascelibrary-org.libproxy.tut.fi/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29TE.1943-5436.0000832>
- [33] J. Nissinen, Vantaan katuverkon kuntoarvio, Metropolia ammattikorkeakoulu, 2016, 39 s. + liitteet. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/105095/Mestarityo%20Jani%20Nissinen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [34] H. Onninen, TPPT Menetelmäkuvaus - Palvelutasomittaus (PTM) tien rakenteen parantamisen suunnittelussa, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Espoo, 2001, 15 s. + liitteet. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/16-ptm.pdf>
- [35] H. Onninen, TPPT Menetelmäkuvaus - Tien vaurioinventointi hanketasolla, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Espoo, 2001, 19 s. + liitteet. Saatavissa: [http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/15-tien\\_vauriokartoitus.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/15-tien_vauriokartoitus.pdf)
- [36] Paikkatietoikkuna, Karttapalvelun kartat internet-sivustolla. Viitattu 18.6.2018. Saatavissa: <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/?lang=fi>

- [37] H. Piippo, J. Belt, E. Ehrola, Tien kantavuuden mittauslaitteet ja eri laitteilla määritetyt kantavuudet, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo, 1990, 87 s. + liitteet.
- [38] J. Pirhonen, Kunnallisteknisen yleissuunnitelman laatiminen rakennettuun ympäristöön, Opinnäytetyö, Saimaan Ammattikorkeakoulu, Lappeenranta, 2011, 64 s. Saatavissa:  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26950/Pirhonen\\_Joonas.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26950/Pirhonen_Joonas.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- [39] Puskantien vaihtoehtoinen tyyppipoikkileikkaus, piirustusnumero a-1612/2.1, Vaasan kaupungin tekninen virasto, Kuntatekniikka, 2016. Viitattu 2.1.2018. Saatavissa: [https://www.vaasa.fi/sites/default/files/a-1612\\_3\\_puskantie\\_tyyppipoikkileikkaus\\_uusi.pdf](https://www.vaasa.fi/sites/default/files/a-1612_3_puskantie_tyyppipoikkileikkaus_uusi.pdf)
- [40] Pysyvät muodonmuutokset, urautumisen luokittelu, Roadex Network, E-learning-aineisto, 2018. Viitattu 31.1.2018. Saatavissa: <http://www.roadex.org/fi/e-learning/kurssit/pysyvat-muodonmuutokset/3-pysyvat-muodonmuutokset-urautumisen-luokittelu/>
- [41] Rakenteen parantamisen suunnittelu, Tiehallinto, Helsinki, 2005, 86 s. + liitteet. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2100035-v-05rakentparantsuun.pdf>
- [42] Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävät maatutkatutkimukset ja tulosten esitystapa - menetelmäkuvaus, Tiehallinto, Helsinki, 2004, 41 s. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2100027-v-04rakentparantamissuunn.pdf>
- [43] Rakenteen parantamista edeltävät tutkimukset ja suunnitelmat, Tiehallinto, Helsinki, 2008, 44 s. + liitteet. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2100056-v-08-rakent\\_parant\\_edelt\\_tutkim\\_ja\\_suunn.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2100056-v-08-rakent_parant_edelt_tutkim_ja_suunn.pdf)
- [44] H. Ranta, Viemäriverkoston vuotovesilähteiden tutkiminen ja verkostotiedon hyödyntäminen viemärlaitoksilla, TTY, Tampere, 2016, 61 s. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/24325>
- [45] J. Rantanen, Korjausvelan laskentaperiaatteiden määrittäminen, Suomen Kuntaliitto, Helsinki, 2014, 25 s. Saatavissa: [shop.kunnat.net/download.php?filename=uploads/korjausvelka\\_ebook.pdf](http://shop.kunnat.net/download.php?filename=uploads/korjausvelka_ebook.pdf)

- [46] J. Rantanen, Laskentamalli katujen ja viheralueiden korjausvelan laskentaan - Loppuraportti, Suomen Kuntaliitto, Helsinki, 2015, 20 s. Saatavissa: [shop.kunnat.net/download.php?filename=uploads/laskentahanke.pdf](http://shop.kunnat.net/download.php?filename=uploads/laskentahanke.pdf)
- [47] Rapal Oy, Rapal Oy:n internetsivut korjausvelan laskennasta. Viitattu 12.5.2018. Saatavissa: <https://www.rapal.com/fi/korjausvelan-laskenta>
- [48] L. Rautio, Korjausvelan laskentahanke: Haasteet ja mahdollisuudet: Case Vaasa, Vaasan ammattikorkeakoulu, 2015, 66 s. + liitteet. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015092814935>
- [49] Roadroid reference projects, Roadroid, 2014. Viitattu 11.2.2018. Saatavissa: <https://www.roadroid.com/common/References/Roadroid%20reference%20projects%200.5.pdf>
- [50] Roadscanners, Internet-sivut. Viitattu 9.4.2018. Saatavissa: <http://www.roadscanners.com/reference/rovaniemi-street-doctor/>
- [51] T. Ryytänen, J. Belt, Kantavuusmittauslaitteilla mitatut taipumat ja määritetyt kantavuudet asfalttipäällysteisillä teillä, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo, 1991, 32 s. + liitteet.
- [52] S. Saarelainen, TPPT Menetelmäkuvaus - Tierakenteen routamitoitus, VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, Espoo, 2001, 38 s. + liitteet. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/18-routamitoitus.pdf>
- [53] T. Saarenketo, Kuivatusanalyysit päällystetyillä ja sorateilla - Menetelmäkuvaus - Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 40/2009, Tiehallinto, Helsinki, 2009, 22 s. + liitteet. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf2/4000715-v-kuivatusanalyysit.pdf>
- [54] Skulden till underhåll - Det Kommunala Underhållsbehovet för Gator Broar och Belysning, Sveriges Kommuner och Landsting, 2016, 119 s. Saatavissa: <https://webbutik.skl.se/bilder/artiklar/pdf/7585-446-5.pdf?issuusl=ignore>
- [55] H. Spoof, S. Petäjä, TPPT Menetelmäkuvaus - Pudotuspainolaitemittaus (PPL-mittaus), VTT Yhdyskuntateknikka, Espoo, 2000, 15 s. + liitteet. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/1-pplmittaus.pdf>
- [56] H. Spoof, S. Petäjä, TPPT Menetelmäkuvaus - Rakennekerrosmoduulien takaisinlaskenta sekä jännitysten ja muodonmuutosten laskenta, VTT Yhdyskuntateknikka, Espoo, 2000, 17 s. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/2-rakennekerrosmod.pdf>

- [57] H. Spoof, J. Pihlajamäki, TPPT Menetelmäkuvaus - Kuormituskestävyysmitoitus - Päälysrakenteen väsyminen, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Espoo, 2001, 31 s. + liitteet. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/17-kuormituskest.pdf>
- [58] T. Suominen, Laserkeilauksesta apua 3D -mallintamiseen, Tierakennusmestari, 2009, ss. 44-47. Saatavissa: <http://www.tierakennusmestari.com/lehdet/Suominen.pdf>
- [59] Tiehallinnon selvityksiä 50/2005 - Palvelutasomittausten uusien tunnuslukujen käyttöönotto ja hyödyntäminen, Tiehallinto, Helsinki, 2005, 60 s. + liitteet. Saatavissa: [http://alk.tiehallinto.fi/voh/Projektit\\_julkaisut/julkaisu\\_Palvelutasomittausten\\_uudet\\_tunnusluvut.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/voh/Projektit_julkaisut/julkaisu_Palvelutasomittausten_uudet_tunnusluvut.pdf)
- [60] Tiehallinnon selvityksiä 21/2007 - Käsikirja päällysteiden pinnan kunnon mittaamiseen - APVM 2006-2007 T&K, Tiehallinto, Helsinki, 2007, 50 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf/3201047-v-kasikirja\\_paallysteiden\\_pinnan\\_kunnon\\_mitt.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf/3201047-v-kasikirja_paallysteiden_pinnan_kunnon_mitt.pdf)
- [61] Tielaitoksen selvityksiä 23/1999 - Uudet mittaus- ja tutkimusmenetelmät rakenteen parantamisen suunnittelussa (MISU-projekti), Tielaitos, Oulu, 1999, 47 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf1/3200568-uudet\\_mittaus\\_ja\\_tutkimusmenet\\_rak\\_parant\\_suun.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf1/3200568-uudet_mittaus_ja_tutkimusmenet_rak_parant_suun.pdf)
- [62] Tierakenteen suunnittelu, Tiehallinto, Helsinki, 2004, 69 s. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf>
- [63] Tilastokeskus, Fraktiili-käsitteen määritelmä. Viitattu 15.8.2018. Saatavissa: <https://www.stat.fi/meta/kas/fraktiilit.html>
- [64] Vesi tierakenteessa ja pohjamaassa, terminologiaa, Roadex Network, E-learning -aineisto, 2018. Viitattu 5.2.2018. Saatavissa: <http://www.roadex.org/fi/e-learning/kurssit/teiden-kuivatus/2-vesi-tierakenteessa-ja-pohjamaassa-terminologiaa/>
- [65] L. Vettenranta, H. Mäkelä, InfraRYL on otettu käyttöön infrahankkeissa, Tierakennusmestari, 2007, ss. 22 - 25. Saatavissa: [http://www.tierakennusmestari.com/lehdet/2007\\_1\\_Vettenranta\\_Makela.pdf](http://www.tierakennusmestari.com/lehdet/2007_1_Vettenranta_Makela.pdf)
- [66] P. Virtala, Oulun kaupungin katujen korjausvelan määrittäminen 2016, Destia Oy, 2017, 28 s. + liitteet. Viitattu 10.4.2018. Raportti saatu Oulun kaupungin suunnittelupäälliköltä Tapio Siikaluomalta 2.10.2017.

- [67] M. Väisänen, Kemin kaupungin katujen korjausvelka, Oulun ammattikorkeakoulu, 2015, 47 s. Saatavissa:
- [68] T. Välisalo, M. Räikkönen, E. Lehtinen, Asset Management vesihuollossa - Kirjallisuustutkimus, VTT, Espoo, 2006, 79 s. + liitteet. Saatavissa:  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W61.pdf>
- [69] W. Wells, Determining Maintenance Needs of County Roads and City Streets, Transportation Research Record, Issue Number 943, Transportation Research Board, 1983, pp. 27-30. Saatavissa:  
<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1983/943/943-006.pdf>
- [70] A. Weninger-Vycudil, J. Litzka, F. Schiffmann, H. P. Lindemann, J. Haberl, I. Scazziga, M. Rodriguez, A. Hueppi, J. Jamnik, Maintenance Backlog - Estimation and Use, Road EraNET, 2009, 160 p. Ollut saatavissa 7.11.2017 osoitteesta <http://www.pms-consult.at/enr/>. Linkki kadonnut myöhemmin.
- [71] J. Äijö, P. Virtala, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 42/2011 - Liikenneväylien korjausvelka - Laskentamallin kehitys ja testaus, Liikennevirasto, Helsinki, 2011, 43 s. + liitteet. Saatavissa:  
[https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts\\_2011-42\\_liikennevaylien\\_korjausvelka\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts_2011-42_liikennevaylien_korjausvelka_web.pdf)

## LIITE A: KORJAUSVELKALASKENNAN TULOKSIA

Liitteessä on esitetty kuvia korjausvelkalaskimen laskentaportteista. Esitetyt korjausvelkalaskennan raportit ovat laajennettu laskenta vanhalla laskentapohjalla, laajennettu laskenta uudella laskentapohjalla sekä tarkin laskenta uudella laskentapohjalla.

RAPORTOINTI

Arvopainotetut keskiluvut								
Kohdetyyppi	Uudisarvo	opt. k-taso	kt-arvio	korj.v.-%	kv-summa			
Pääkatu	1 951 742 €	90	-	90 %	1 756 568 €			
Kokoojakatu	4 419 228 €	75	17	58 %	2 542 892 €			
Tonttikatu	1 896 794 €	65	2	63 %	1 191 719 €			
A1 Edustuspuisto	-	-	-	-	-			
A2 Käyttöpuisto	-	-	-	-	-			
A3 Käyttö- ja suojaviheralue	-	-	-	-	-			
A3 + puu	-	-	-	-	-			
8 267 764 €					5 491 178 €			
Kohde	Toiminnal. luokka	Kaupunki	Uudishinta (€)	Opt. k-taso	Tarkkuus	kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka
Vanhan Vaasan katu välillä Niitten	Kokoojakatu	Ristinummi	1 176 805 €	75	Laajennettu (II)	0 %	75 %	882 604 €
Vanhan Vaasan katu välillä Kappel	Kokoojakatu	Ristinummi	1 072 929 €	75	Laajennettu (II)	66 %	9 %	99 328 €
Kauppapuistikko välillä Vaasanp - I	Pääkatu	Keskusta	330 219 €	90	Laajennettu (II)	0 %	90 %	297 197 €
Kauppapuistikko välillä Rauhankat.	Pääkatu	Keskusta	648 266 €	90	Laajennettu (II)	0 %	90 %	583 439 €
Koulukatu	Kokoojakatu	Keskusta	604 399 €	75	Laajennettu (II)	0 %	75 %	453 299 €
Koulukatu välillä Vaasanp - Hietala	Pääkatu	Keskusta	973 257 €	90	Laajennettu (II)	0 %	90 %	875 931 €
Sorvarinkatu	Tonttikatu	Ristinummi	255 398 €	65	Laajennettu (II)	0 %	65 %	166 009 €
Sepänkatu	Tonttikatu	Ristinummi	185 253 €	65	Laajennettu (II)	0 %	65 %	120 414 €
Jyrsijänkatu	Tonttikatu	Ristinummi	259 911 €	65	Laajennettu (II)	0 %	65 %	168 942 €
Pitkännevantie	Tonttikatu	Gerby	47 343 €	65	Laajennettu (II)	3 %	62 %	29 418 €
Uuspellontie	Tonttikatu	Gerby	91 054 €	65	Laajennettu (II)	14 %	51 %	46 273 €
Taikkotie	Tonttikatu	Gerby	88 227 €	65	Laajennettu (II)	23 %	42 %	37 178 €
Hellaksentie	Tonttikatu	Gerby	47 669 €	65	Laajennettu (II)	14 %	51 %	24 225 €
Smirnoffintie	Tonttikatu	Huutoniemi	94 648 €	65	Laajennettu (II)	0 %	65 %	61 521 €
Liisanlehdontie	Tonttikatu	Vanha Vaasa	515 317 €	65	Laajennettu (II)	0 %	65 %	334 956 €
Kaarlenie	Tonttikatu	Vaskiluoto	311 974 €	65	Laajennettu (II)	0 %	65 %	202 783 €
Mäntymaantie	Kokoojakatu	Gerby	1 173 657 €	75	Laajennettu (II)	0 %	75 %	880 243 €
Rajarinne	Kokoojakatu	Västervik	391 438 €	75	Laajennettu (II)	17 %	58 %	227 418 €

### 15 kadun korjausvelkalaskenta, vanha laskentapohja, laajennettu laskenta

RAPORTOINTI									
Kohdetyyppi	Uudisarvo	Arvopainotetut keskiluvut			kv-summa				
		opt. k-taso	kt-arvio	korj.v.-%					
Pääkatu	1 951 742 €	90	49	41 %	791 095 €				
Kokoojakatu	4 419 228 €	75	30	45 %	2 008 680 €				
Tonttikatu	1 896 794 €	65	9	56 %	1 061 237 €				
A1 Edustuspuisto	-	-	-	-	-				
A2 Käyttöpuisto	-	-	-	-	-				
A3 Käyttö- ja suojaviheralue	-	-	-	-	-				
A3 + puu	-	-	-	-	-				
Yhteensä	8 267 764 €				3 861 012 €				
Kohde	Toiminnallinen lk.	Omistustieto	Jälleenhankinta (€)	Opt. k-taso	Tarkkuus	Man. KT	kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka
<i>Vanhan Vaasan katu välillä Niittomiehent. - K</i>	<i>Kokoojakatu</i>	<i>Ristinummi</i>	1 176 805 €	75	Laajennettu (II)		5 %	70 %	821 217 €
<i>Vanhan Vaasan katu välillä Kappelinmäent. - i</i>	<i>Kokoojakatu</i>	<i>Ristinummi</i>	1 072 929 €	75	Laajennettu (II)		64 %	11 %	121 726 €
<i>Kauppapuistikko välillä Vaasanp - Rauhankatu</i>	<i>Pääkatu</i>	<i>Keskusta</i>	330 219 €	90	Laajennettu (II)		69 %	21 %	70 804 €
<i>Kauppapuistikko välillä Rauhankatu - Korshol.</i>	<i>Pääkatu</i>	<i>Keskusta</i>	648 266 €	90	Laajennettu (II)		43 %	47 %	301 549 €
<i>Koulukatu</i>	<i>Kokoojakatu</i>	<i>Keskusta</i>	604 399 €	75	Laajennettu (II)		32 %	43 %	257 626 €
<i>Koulukatu välillä Vaasanp - Hietalahdent.</i>	<i>Pääkatu</i>	<i>Keskusta</i>	973 257 €	90	Laajennettu (II)		47 %	43 %	418 742 €
<i>Sorvarinkatu</i>	<i>Tonttikatu</i>	<i>Ristinummi</i>	255 398 €	65	Laajennettu (II)		5 %	60 %	154 223 €
<i>Sepänkatu</i>	<i>Tonttikatu</i>	<i>Ristinummi</i>	185 253 €	65	Laajennettu (II)		5 %	60 %	111 122 €
<i>Jyrsijänkatu</i>	<i>Tonttikatu</i>	<i>Ristinummi</i>	259 911 €	65	Laajennettu (II)		5 %	60 %	156 948 €
<i>Pitkännevantie</i>	<i>Tonttikatu</i>	<i>Gerby</i>	47 343 €	65	Laajennettu (II)		21 %	44 %	20 956 €
<i>Uuspellontie</i>	<i>Tonttikatu</i>	<i>Gerby</i>	91 054 €	65	Laajennettu (II)		18 %	47 %	42 538 €
<i>Taikkotie</i>	<i>Tonttikatu</i>	<i>Gerby</i>	88 227 €	65	Laajennettu (II)		20 %	45 %	39 500 €
<i>Hellaksentie</i>	<i>Tonttikatu</i>	<i>Gerby</i>	47 669 €	65	Laajennettu (II)		18 %	47 %	22 270 €
<i>Smirnoffintie</i>	<i>Tonttikatu</i>	<i>Huutoniemi</i>	94 648 €	65	Laajennettu (II)		4 %	61 %	58 190 €
<i>Liisanlehdontie</i>	<i>Tonttikatu</i>	<i>Vanha Vaasa</i>	515 317 €	65	Laajennettu (II)		9 %	56 %	290 467 €
<i>Kaarlenie</i>	<i>Tonttikatu</i>	<i>Vaskiluoto</i>	311 974 €	65	Laajennettu (II)		12 %	53 %	165 023 €
<i>Mäntymaantie</i>	<i>Kokoojakatu</i>	<i>Gerby</i>	1 173 657 €	75	Laajennettu (II)		19 %	56 %	656 893 €
<i>Rajarinne</i>	<i>Kokoojakatu</i>	<i>Västervik</i>	391 438 €	75	Laajennettu (II)		36 %	39 %	151 217 €



*15 kadun korjausvelkalaskenta, uusi laskentapohja, laajennettu laskenta*

RAPORTOINTI									
Kohdetyyppi	Uudisarvo	Arvopainotetut keskiluvut				kv-summa			
		opt. k-taso	kt-arvio	korj.v.-%					
Pääkatu	1 951 742 €	90	47	43 %		832 062 €			
Kokoojakatu	4 419 228 €	75	28	47 %		2 071 944 €			
Tonttikatu	1 896 794 €	65	8	57 %		1 082 899 €			
A1 Edustuspuisto	-	-	-	-		-			
A2 Käyttöpuisto	-	-	-	-		-			
A3 Käyttö- ja suojaviheralue	-	-	-	-		-			
A3 + puu	-	-	-	-		-			
Yhteensä	8 267 764 €					3 986 905 €			
Kohde	Toiminnallinen lk.	Omistustieto	Jälleenhankinta (€)	Opt. k-taso	Tarkkuus	Man. KT	kt-arvio	korj.v.-%	korjausvelka
Vanha Vaasan katu välillä Niittomiehent. - K	Kokoojakatu	Ristinummi	1 176 805 €	75	Tarkin (III)		4 %	71 %	840 295 €
Vanha Vaasan katu välillä Kappelinnäent. - i	Kokoojakatu	Ristinummi	1 072 929 €	75	Tarkin (III)		62 %	13 %	139 913 €
Kauppapuistikko välillä Vaasanp - Rauhankatu	Pääkatu	Keskusta	330 219 €	90	Tarkin (III)		67 %	23 %	76 833 €
Kauppapuistikko välillä Rauhankatu - Korsholr.	Pääkatu	Keskusta	648 266 €	90	Tarkin (III)		42 %	48 %	309 055 €
Koulukatu	Kokoojakatu	Keskusta	604 399 €	75	Tarkin (III)		29 %	46 %	278 563 €
Koulukatu välillä Vaasanp - Hietalahdenk	Pääkatu	Keskusta	973 257 €	90	Tarkin (III)		44 %	46 %	446 173 €
Sorvarinkatu	Tonttikatu	Ristinummi	255 398 €	65	Tarkin (III)		4 %	61 %	156 892 €
Sepänkatu	Tonttikatu	Ristinummi	185 253 €	65	Tarkin (III)		5 %	60 %	112 036 €
Jyrsijänkatu	Tonttikatu	Ristinummi	259 911 €	65	Tarkin (III)		4 %	61 %	158 013 €
Pitkännevantie	Tonttikatu	Gerby	47 343 €	65	Tarkin (III)		19 %	46 %	21 921 €
Uuspellontie	Tonttikatu	Gerby	91 054 €	65	Tarkin (III)		18 %	47 %	42 982 €
Talkootie	Tonttikatu	Gerby	88 227 €	65	Tarkin (III)		18 %	47 %	41 255 €
Hellaksentie	Tonttikatu	Gerby	47 669 €	65	Tarkin (III)		13 %	52 %	24 569 €
Sminoffintie	Tonttikatu	Huutoniemi	94 648 €	65	Tarkin (III)		3 %	62 %	58 709 €
Liisanlehdontie	Tonttikatu	Vanha Vaasa	515 317 €	65	Tarkin (III)		7 %	58 %	300 504 €
Kaarlenie	Tonttikatu	Vaskiluoto	311 974 €	65	Tarkin (III)		12 %	53 %	166 029 €
Mäntymaantie	Kokoojakatu	Gerby	1 173 657 €	75	Tarkin (III)		16 %	59 %	693 399 €
Rajarinne	Kokoojakatu	Västervik	391 438 €	75	Tarkin (III)		44 %	31 %	119 794 €

*15 kadun korjausvelkalaskenta, uusi laskentapohja, tarkin laskenta*

## LIITE B: KATUJEN KUIVATUSLUOKKIEN MÄÄRITTELYT

Maastokäyntien yhteydessä kaduista tehtyt kuivatusluokkaan vaikuttavat havainnot ja määritellyt kuivatusluokat:

### 1. Vanhan Vaasan katu

- Väli Niittomiehenkatu - Kappelinmäentie: Kuivatusluokka 3
- Suuria painumia
- Toisella reunalla reunakivi ja vesi ei pääse aina virtaamaan kaivoon
- Väli Kappelinmäentie - Lehtikuusentie: Kuivatusluokka 2
- Pitkät kaivovälit
- Reunakivet molemmin puolin lähes koko matkalla. Joissain kohdissa vesi ei pääse kunnolla pois kadulta, kun reunakivet estävät valumisen ojaan
- Kadun poikkileikkauksen muoto säilynyt hyvin

### 2. Kauppapuistikko

- Väli Vaasanpuistikko - Rauhankatu: Kuivatusluokka 2
- Pitkät kaivovälit
- Uria ja kohtia, joissa vesi ei välttämättä mene helposti kaivoon
- Väli Rauhankatu - Korsholmanpuistikko: Kuivatusluokka 2
- Pitkät kaivovälit
- Uria ja kohtia, joissa vesi ei välttämättä mene helposti kaivoon
- Joissain kohdissa olisi voinut olla kaivo, vesi näytti jäävän tiettyihin kohtiin

### 3. Koulukatu

- Väli Rauhankatu - Vaasanpuistikko: Kuivatusluokka 1
- Poikkileikkaus näytti säilyttäneen muodon suhteellisen hyvin
- Välillä useampia kaivoja
- Väli Vaasanpuistikko - Hovioikeudenpuistikko: Kuivatusluokka 2
- Pitkät kaivovälit
- Kohtia, joissa veden virtaus ei välttämättä jatku kohti kaivoa

### 4. Sorvarinkatu

- Kuivatusluokka 3
- Reunakivellinen poikkileikkaus, kaivoja vähän
- Katu hyvin tasainen, pituuskaltevuutta ei juuri ollenkaan
- Poikkileikkauksessa muodonmuutoksia ja kohtia joihin vesi lammikoituu

## 5. Sepänkatu

- Kuivatusluokka 3
- Reunakivellinen poikkileikkaus, kaivoja vähän
- Katu hyvin tasainen, pituuskaltevuutta ei juuri ollenkaan
- Kadun pinta vaurioitunut, poikkileikkauksessa muodonmuutoksia ja kohtia joihin vesi lammikoituu

## 6. Jyrsijänkatu

- Kuivatusluokka 2
- Reunakivellinen poikkileikkaus, kaivoja vähän
- Poikkileikkaus säilyttänyt muotonsa jotenkin, joissain kohdissa vesi lammikoituu kadulle
- Osassa kadusta suuri pituuskaltevuus, jolloin vesi ei jää paikalleen vaan valuu kaivoihin

## 7. Pitkänevantie

- Kuivatusluokka 3
- Sivuojallinen poikkileikkaus
- Poikkileikkauksessa suuria muodonmuutoksia, painumia ja kuoppia joihin vesi jää seisomaan eikä valu sivuojiin

## 8. Uuspellontie

- Kuivatusluokka 2
- Sivuojallinen poikkileikkaus
- Poikkileikkauksessa pieniä muodonmuutoksia ja joissain kohdissa reunapalletta, niin ettei vesi pääse niin hyvin ojiin

## 9. Talkootie

- Kuivatusluokka 3
- Sivuojallinen poikkileikkaus
- Poikkileikkauksessa muodonmuutoksia ja useissa kohdissa reunapalletta, niin että vesi jää kadulle
- Kadun toisella puolella useita tonttiliittymiä, niin ettei siellä ole sivuojaa. Näissä kohdissa on lammikoitumisen jälkiä, eli vesi jää kadulle

## 10. Hellaksentie

- Kuivatusluokka 3
- Sivuojallinen poikkileikkaus
- Poikkileikkauksessa muodonmuutoksia ja useissa kohdissa reunapalletta
- Muutama kohta, joissa vesi jää selkeästi katurakenteen pinnalle ja katu on painunut ja vaurioitunut tästä kohdasta

## 11. Smirnoffintie

- Kuivatusluokka 3

- Toisella puolella reunakivi, toisella puolella sivuoja. Harjakalteva poikkileikkaus
- Reunakiven puolella katua rakennetaan uusia rakennuksia. Ehkä tämän seurauksena kadulla on erittäin paljon mursketta, mikä heikentää poikkileikkauksen muotoa
- Kadulla paljon uria, pinta huonon muotoinen ja ojan puolella reunapalletta. Reunakiven puolella vain yksi kaivo, joka on suurelta osin peittynyt

#### 12. Liisanlehdontie

- Kuivatusluokka 3
- Sivuojaallinen poikkileikkaus. Useissa kohdissa on myös reunakivet.
- Poikkileikkauksessa muodonmuutoksia ja reikiintymiä. Korkeat reunapalleet tai reunakivet estämässä veden virtausta.

#### 13. Kaarlentie

- Kuivatusluokka 2
- Yhdessä kohdassa sivuoja, kadulla muutama kaivo ja osassa kadusta vesi valuu ajoradan ja jalankulku- ja pyöräväylän väliselle viheralueelle, jossa ei ole ojaa
- Poikkileikkaus on säilyttänyt muotonsa hyvin. Muutamassa kohdassa pieniä muodonmuutoksia
- Ajoradan ja piha-alueen asfaltin välissä jiiri, jota pitkin vesi valuu kairoon. Vesi jää joissain kohdissa paikoilleen jiiressä

#### 14. Mäntymaantie

- Kuivatusluokka 1
- Sivuojaallinen poikkileikkaus
- Päällyste on hyväkuntoinen ja poikkileikkaus on säilyttänyt muotonsa hyvin. Ei ole reunapalleteita
- Yhdessä kohdassa asfaltin reunan ja ojan reunan välissä pieni kohta, jossa eroosiota ja johon vesi voi jäädä seisomaan. Tämä kohta mutkan sisäkaarteessa. Asfaltissa pieniä halkeamia tällä kohdalla, mutta muuten asfaltti on hyväkuntoinen

#### 15. Rajarinne

- Kuivatusluokka 1
- Reunakivellinen poikkileikkaus
- Kaivoja on säännöllisesti ja kadulla ei ole lammikoitumiskohtia
- Poikkileikkaus on säilyttänyt muotonsa
- Yhdessä liittymässä olisi voinut olla kaivo, koska liittymään lammikoitui vettä
- Jalakulku- ja pyöräväylällä kuivatus ei toiminut niin hyvin kuin ajoradalla